

(19)日本国特許庁(JP)

(12)公表特許公報(A)

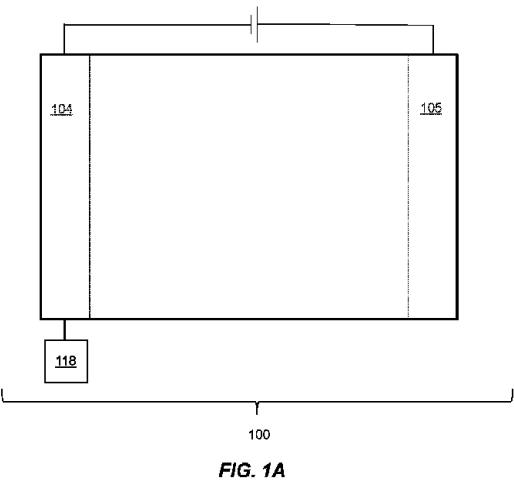
(11)公表番号  
特表2023-524076  
(P2023-524076A)

(43)公表日 令和5年6月8日(2023.6.8)

|                   |                               |         |         |                     |                   |
|-------------------|-------------------------------|---------|---------|---------------------|-------------------|
| (51)国際特許分類        |                               | F I     |         | テーマコード (参考)         |                   |
| C 0 1 F           | 11/02 (2006.01)               | C 0 1 F | 11/02   | Z                   | 4 G 0 7 6         |
| C 0 1 F           | 11/16 (2006.01)               | C 0 1 F | 11/16   |                     | 4 K 0 2 1         |
| C 2 5 B           | 1/04 (2021.01)                | C 2 5 B | 1/04    |                     |                   |
| C 2 5 B           | 1/16 (2006.01)                | C 2 5 B | 1/16    |                     |                   |
| C 2 5 B           | 1/18 (2006.01)                | C 2 5 B | 1/18    |                     |                   |
|                   |                               | 審査請求    | 未請求     | 予備審査請求              | 未請求 (全87頁) 最終頁に続く |
|                   |                               |         |         |                     |                   |
| (21)出願番号          | 特願2022-566361(P2022-566361)   |         | (71)出願人 | 596060697           |                   |
| (86)(22)出願日       | 令和3年4月29日(2021.4.29)          |         |         | マサチューセッツ インスティテュート  |                   |
| (85)翻訳文提出日        | 令和4年12月22日(2022.12.22)        |         |         | オブ テクノロジー           |                   |
| (86)国際出願番号        | PCT/US2021/029918             |         |         | アメリカ合衆国マサチューセッツ州02  |                   |
| (87)国際公開番号        | WO2021/222585                 |         |         | 139ケンブリッジ, マサチューセッツ |                   |
| (87)国際公開日         | 令和3年11月4日(2021.11.4)          |         |         | ・アヴェニュー・77          |                   |
| (31)優先権主張番号       | 63/054,683                    |         | (74)代理人 | 100078282           |                   |
| (32)優先日           | 令和2年7月21日(2020.7.21)          |         |         | 弁理士 山本 秀策           |                   |
| (33)優先権主張国・地域又は機関 | 米国(US)                        |         | (74)代理人 | 100113413           |                   |
|                   |                               |         |         | 弁理士 森下 夏樹           |                   |
| (31)優先権主張番号       | 63/018,696                    |         | (74)代理人 | 100181674           |                   |
| (32)優先日           | 令和2年5月1日(2020.5.1)            |         |         | 弁理士 飯田 貴敏           |                   |
| (33)優先権主張国・地域又は機関 | 米国(US)                        |         | (74)代理人 | 100181641           |                   |
|                   |                               |         |         | 弁理士 石川 大輔           |                   |
| (81)指定国・地域        | AP(BW,GH,GM,KE,LR,LS,MW,MZ,NA |         | (74)代理人 | 230113332           |                   |
|                   |                               | 最終頁に続く  |         | 最終頁に続く              |                   |

(54)【発明の名称】 材料を精製するための反応器出力の使用および関連システム

(57)【要約】  
反応器出力を使用して、材料を精製する方法が、本明細書において開示される。例えば、反応器内で生産される酸および／または塩基を使用して、材料（例えば、石灰石、ドロマイト、廃棄物流、および／または灰）を精製する方法が、本明細書に説明される。関連システムも、説明される。一実施形態において、方法は、酸および／または塩基を反応器内で生産することと、不純物の第1の濃度を備えている第1の物質を第1の溶液中に溶解させることと、不純物の第2の濃度を備えている第2の物質を第2の溶液中に沈殿させることとを含み、第1の溶液および第2の溶液のうちの少なくとも1つは、酸および／または塩基を備え、不純物の第2濃度は、不純物の第1の濃度より低い。



## 【特許請求の範囲】

## 【請求項 1】

方法であって、前記方法は、  
酸および／または塩基を反応器内で生産することと、  
不純物の第 1 の濃度を備えている第 1 の物質を第 1 の溶液中に溶解させることと、  
前記不純物の第 2 の濃度を備えている第 2 の物質を第 2 の溶液中に沈殿させることと  
を含み、  
前記第 1 の溶液および前記第 2 の溶液のうちの少なくとも 1 つは、前記酸および／または  
は塩基を備え、  
前記不純物の前記第 2 濃度は、前記不純物の前記第 1 の濃度より低い、方法。

10

## 【請求項 2】

前記不純物の前記第 2 の濃度は、質量ベースで、前記不純物の前記第 1 の濃度に対して、  
、少なくとも 10 % 低い、請求項 1 に記載の方法。

## 【請求項 3】

前記第 1 の物質は、金属塩、金属酸化物、ケイ酸塩、および／または金属合金を備えて  
いる、請求項 1 - 2 のいずれかに記載の方法。

## 【請求項 4】

前記第 1 の物質は、石灰石、石灰、および／またはドロマイトを備えている、請求項 1  
- 3 のいずれかに記載の方法。

## 【請求項 5】

前記第 1 の物質は、廃棄物流を備えている、請求項 1 - 4 のいずれかに記載の方法。

20

## 【請求項 6】

前記廃棄物流は、灰、窯塵埃、下水沈殿物、冶金プロセスからのスラグ、および／または  
は金属鉱石を備えている、請求項 5 に記載の方法。

## 【請求項 7】

酸を前記反応器内で生産することを含む、請求項 1 - 6 のいずれかに記載の方法。

## 【請求項 8】

前記第 1 の溶液は、前記酸を備えている、請求項 7 に記載の方法。

## 【請求項 9】

塩基を前記反応器内で生産することを含む、請求項 1 - 8 のいずれかに記載の方法。

30

## 【請求項 10】

前記第 2 の溶液は、前記塩基を備えている、請求項 9 に記載の方法。

## 【請求項 11】

前記第 2 の物質は、アルカリ土類金属水酸化物、アルカリ土類金属酸化物、遷移金属水  
酸化物、遷移金属酸化物、および／または元素金属を備えている、請求項 1 - 10 のい  
ずれかに記載の方法。

## 【請求項 12】

前記第 2 の物質は、水酸化カルシウム、水酸化マグネシウム、酸化カルシウム、および  
／または酸化マグネシウムを備えている、請求項 1 - 11 のいずれかに記載の方法。

## 【請求項 13】

前記不純物の第 3 の濃度を備えている第 3 の物質を第 3 の溶液中に沈殿させることをさ  
らに含み、

40

前記不純物の前記第 3 の濃度は、前記不純物の前記第 1 の濃度より低く、

前記第 1 の溶液は、第 1 の pH を有し、前記第 2 の溶液は、第 2 の pH を有し、前記第  
3 の溶液は、第 3 の pH を有し、

前記第 3 の pH は、前記第 2 の pH より高い、請求項 1 - 12 のいずれかに記載の方法  
。

## 【請求項 14】

前記不純物の前記第 3 の濃度は、質量ベースで、前記不純物の前記第 1 の濃度に対して、  
、少なくとも 10 % 低い、請求項 13 に記載の方法。

50

## 【請求項 15】

前記第3の物質は、アルカリ土類金属水酸化物、アルカリ土類金属酸化物、遷移金属水酸化物、遷移金属酸化物、および／または元素金属を備えている、請求項13－14のいずれか1項に記載の方法。

## 【請求項 16】

前記第3の物質は、水酸化カルシウム、水酸化マグネシウム、酸化カルシウム、および／または酸化マグネシウムを備えている、請求項13－15のいずれか1項に記載の方法。

## 【請求項 17】

前記反応器は、前記第1の物質を含む装置に流体的に接続されている、請求項1－16のいずれかに記載の方法。 10

## 【請求項 18】

前記酸および／または塩基は、前記反応器から、前記第1の物質を含む前記装置に流動する、請求項17に記載の方法。

## 【請求項 19】

前記反応器は、前記第2の物質が沈殿させられる装置に流体的に接続されている、請求項1－18のいずれかに記載の方法。

## 【請求項 20】

前記酸および／または塩基は、前記反応器から、前記第2の物質が沈殿させられる前記装置に流動する、請求項19に記載の方法。 20

## 【請求項 21】

前記反応器は、前記第3の物質が沈殿させられる装置に流体的に接続されている、請求項1－20のいずれかに記載の方法。

## 【請求項 22】

前記酸および／または塩基は、前記反応器から、前記第3の物質が沈殿させられる前記装置に流動する、請求項21に記載の方法。

## 【請求項 23】

前記第1の物質を含む前記装置、前記第2の物質が沈殿させられる前記装置、および／または前記第3の物質が沈殿させられる前記装置は、同じ装置である、請求項19－22のいずれか1項に記載の方法。 30

## 【請求項 24】

前記第1の物質を含む前記装置、前記第2の物質が沈殿させられる前記装置、および／または前記第3の物質が沈殿させられる前記装置は、異なる装置である、請求項19－22のいずれか1項に記載の方法。

## 【請求項 25】

前記第1の物質を含む前記装置、前記第2の物質が沈殿させられる前記装置、および／または前記第3の物質が沈殿させられる前記装置は、流体的に接続されている、請求項19－24のいずれか1項に記載の方法。

## 【請求項 26】

前記第2の物質を沈殿させることは、電解採取の使用を含む、請求項1－25のいずれか1項に記載の方法。 40

## 【請求項 27】

前記第3の物質を沈殿させることは、電解採取の使用を含む、請求項13－26のいずれか1項に記載の方法。

## 【請求項 28】

ある成分を含む灰を処理するためのシステムであって、前記システムは、  
液体溶媒流を提供するように構成された反応器と、  
前記灰を前記液体溶媒流と接触して設置するための容器と  
を備えている、システム。

## 【請求項 29】

前記液体溶媒流は、酸性である、請求項 28 に記載のシステム。

【請求項 30】

前記液体溶媒流は、塩基性である、請求項 28 に記載のシステム。

【請求項 31】

前記反応器は、電気化学反応器を備えている、請求項 28 - 30 のいずれか 1 項に記載のシステム。

【請求項 32】

前記電気化学反応器は、酸流を酸素発生カソードにおいて、およびアルカリ流を水素発生アノードにおいて生産するように構成された中性水電解槽を備えている、請求項 31 に記載のシステム。

10

【請求項 33】

前記中性水電解槽は、前記酸流を方向づけ、前記灰中に存在する金属塩、金属酸化物、ケイ酸塩、および／または金属合金を選択的に溶解させるように構成されている、請求項 32 に記載のシステム。

【請求項 34】

前記中性水電解槽は、前記酸流を方向づけ、カルシウム塩を選択的に溶解させるように構成されている、請求項 32 - 33 のいずれか 1 項に記載のシステム。

【請求項 35】

前記中性水電解槽は、前記アルカリ流を方向づけ、アルカリ土類金属水酸化物、遷移金属水酸化物、アルカリ土類金属酸化物、遷移金属酸化物、元素金属、および／または水和された石灰を沈殿させるために使用されるように構成されている、請求項 31 - 34 のいずれか 1 項に記載のシステム。

20

【請求項 36】

前記反応器は、塩素アルカリ反応器および／または非電解反応器を備えている、請求項 28 - 35 のいずれか 1 項に記載のシステム。

【請求項 37】

前記反応器は、酸流およびアルカリ流を生産するように構成され、前記反応器は、前記酸流を方向づけ、前記灰中に存在する金属塩、金属酸化物、ケイ酸塩、および／または金属合金を選択的に溶解させるように構成されている、請求項 36 に記載のシステム。

【請求項 38】

前記反応器は、前記酸流を方向づけ、カルシウム塩を選択的に溶解させるように構成されている、請求項 37 に記載のシステム。

30

【請求項 39】

前記反応器は、前記アルカリ流を方向づけ、アルカリ土類金属水酸化物、遷移金属水酸化物、アルカリ土類金属酸化物、遷移金属酸化物、元素金属、および／または水和された石灰を沈殿させるために使用されるように構成されている、請求項 37 - 38 のいずれか 1 項に記載のシステム。

【請求項 40】

前記システムは、前記成分が前記組み合わせられた灰および液体溶媒流から選択的に沈殿または溶解させられるように構成されている、請求項 28 - 39 のいずれか 1 項に記載のシステム。

40

【請求項 41】

ある成分を含む灰を処理するためのプロセスであって、前記プロセスは、  
液体溶媒流を生産することと、  
前記灰を前記液体溶媒流と接触して設置することと、  
前記成分を前記組み合わせられた灰および液体溶媒流から抽出することと  
を含む、プロセス。

【請求項 42】

前記灰の前記成分は、前記液体溶媒流によって選択的に溶解させられる、請求項 41 に記載のプロセス。

50

## 【請求項 4 3】

前記成分は、前記組み合わせられた灰および液体溶媒流から選択的に沈殿させられる、請求項 4 1 - 4 2 のいずれか 1 項に記載のプロセス。

## 【請求項 4 4】

前記成分は、電解採取を使用して、前記組み合わせられた灰および液体溶媒流から選択的に沈殿させられる、請求項 4 1 - 4 3 のいずれか 1 項に記載のプロセス。

## 【請求項 4 5】

アルカリ土類金属を備えている固体を処理するためのシステムであって、前記システムは、

液体溶媒流を提供するように構成された反応器と、

前記固体を前記液体溶媒流と接触して設置するための容器と

を備えている、システム。

10

## 【請求項 4 6】

前記固体は、アルカリ土類金属を備えている鉱物、アルカリ土類金属を備えている廃棄物、石灰石、石灰、および／またはドロマイトを備えている、請求項 4 5 に記載のシステム。

## 【請求項 4 7】

前記液体溶媒流は、酸性である、請求項 4 5 - 4 6 のいずれか 1 項に記載のシステム。

## 【請求項 4 8】

前記反応器は、電気化学反応器を備えている、請求項 4 5 - 4 7 のいずれか 1 項に記載のシステム。

20

## 【請求項 4 9】

前記電気化学反応器は、酸流を酸素発生カソードにおいて、およびアルカリ流を水素発生アノードにおいて生産するように構成された中性水電解槽を備えている、請求項 4 8 に記載のシステム。

## 【請求項 5 0】

前記電解槽は、前記酸流を方向づけ、前記固体中に存在する金属塩、金属酸化物、ケイ酸塩、および／または金属合金を選択的に溶解させるように構成されている、請求項 4 9 に記載のシステム。

## 【請求項 5 1】

前記電解槽は、前記酸流を方向づけ、カルシウム塩を選択的に溶解させるように構成されている、請求項 4 9 - 5 0 のいずれか 1 項に記載のシステム。

30

## 【請求項 5 2】

前記電解槽は、前記アルカリ流を方向づけ、アルカリ土類金属水酸化物、遷移金属水酸化物、アルカリ土類金属酸化物、遷移金属酸化物、元素金属、および／または水和された石灰を沈殿させるために使用されるように構成されている、請求項 4 9 - 5 1 のいずれか 1 項に記載のシステム。

## 【請求項 5 3】

前記反応器は、塩素アルカリ反応器および／または非電解反応器を備えている、請求項 4 5 - 5 2 のいずれか 1 項に記載のシステム。

40

## 【請求項 5 4】

前記反応器は、酸流およびアルカリ流を生産するように構成され、前記反応器は、前記酸流を方向づけ、前記固体中に存在する金属塩、金属酸化物、ケイ酸塩、および／または金属合金を選択的に溶解させるように構成されている、請求項 5 3 に記載のシステム。

## 【請求項 5 5】

前記反応器は、前記酸流を方向づけ、カルシウム塩を選択的に溶解させるように構成されている、請求項 5 4 に記載のシステム。

## 【請求項 5 6】

前記反応器は、前記アルカリ流を方向づけ、アルカリ土類金属水酸化物、遷移金属水酸化物、アルカリ土類金属酸化物、遷移金属酸化物、元素金属、および／または水和された

50

石灰を沈殿させるために使用されるように構成されている、請求項 54-55 のいずれか 1 項に記載のシステム。

【請求項 57】

前記反応器は、前記組み合わせられた固体および液体溶媒流から、ある成分を選択的に沈殿または溶解させるように構成されている、請求項 45-56 のいずれか 1 項に記載のシステム。

【請求項 58】

アルカリ土類金属を備えている固体を処理するためのプロセスであって、前記プロセスは、

液体溶媒流を生産することと、

前記固体を前記液体溶媒流と接触して設置することと、

前記組み合わせられた固体および液体溶媒流から、ある成分を抽出することとを含む、プロセス。

【請求項 59】

前記固体は、アルカリ土類金属を備えている鉱物、アルカリ土類金属を備えている廃棄物流、石灰石、石灰、および／またはドロマイトを備えている、請求項 58 に記載のプロセス。

【請求項 60】

前記固体のある成分は、前記液体溶媒流によって選択的に溶解させられる、請求項 58-59 のいずれか 1 項に記載のプロセス。

【請求項 61】

前記固体のある成分および／または前記固体のある成分を伴う化学反応の生成物は、前記組み合わせられた固体および液体溶媒流から選択的に沈殿させられる、請求項 58-60 のいずれか 1 項に記載のプロセス。

【請求項 62】

前記固体のある成分および／または前記固体のある成分を伴う化学反応の生成物は、電解採取を使用して、前記組み合わせられた固体および液体溶媒流から選択的に沈殿させられる、請求項 58-61 のいずれか 1 項に記載のプロセス。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

(関連出願)

本願は、米国特許法第 119 条 (e) 下、参照することによってその全体として本明細書に組み込まれる 2020 年 5 月 1 日に出願された米国仮特許出願第 63/018,696 号、および 2020 年 7 月 21 日に出願された米国仮特許出願第 63/054,683 号の優先権を主張する。

(技術分野)

【0002】

材料を精製するための反応器出力の使用および関連システムが、概して、説明される。

【発明の概要】

【課題を解決するための手段】

【0003】

反応器出力を使用して、材料を精製する方法が、本明細書において開示される。関連システムも、説明される。例えば、ある実施形態において、方法は、酸および／または塩基を反応器内で生産することを含む。いくつかの実施形態において、方法は、不純物を備えている第 1 の物質 (例えば、石灰石、ドロマイト、石灰窯塵埃、セメント窯塵埃、灰、および／または廃棄物流) を第 1 の溶液中に溶解させることを含む。ある場合、方法は、第 2 の物質 (例えば、第 1 の物質のある成分、酸化カルシウム、水酸化カルシウム、水酸化マグネシウム、および／または酸化マグネシウム) を第 2 の溶液中に沈殿させることを含む。ある実施形態によると、第 2 の物質は、第 1 の物質中の濃度に対してより低い濃度 (

10

20

30

40

50

重量比)の不純物(および/または総不純物)備えている。ある場合、第1の溶液および/または第2の溶液のうちの少なくとも1つは、反応器内で生産される酸および/または塩基を備えている。本発明の主題は、ある場合、相互関連生成物、特定の問題に対する代替溶液、および/または1つ以上のシステムおよび/または物品の複数の異なる使用を伴う。

#### 【0004】

ある側面は、方法に関連する。いくつかの実施形態において、方法は、酸および/または塩基を反応器内で生産することと、不純物の第1の濃度を備えている第1の物質を第1の溶液中に溶解させることと、不純物の第2の濃度を備えている第2の物質を第2の溶液中に沈殿させることとを含み、第1の溶液および第2の溶液のうちの少なくとも1つは、酸および/または塩基を備え、不純物の第2濃度は、不純物の第1の濃度より低い。いくつかの実施形態において、反応器は、電気化学反応器である。いくつかの実施形態において、電気化学反応器は、少なくとも部分的に再生可能に発生させられる電気によって給電される。

10

#### 【0005】

ある側面は、プロセスに関連する。いくつかの実施形態によると、ある成分を含む灰を処理するためのプロセスは、液体溶媒流を生産することと、灰を液体溶媒流と接触して設置することと、成分を組み合わせられた灰および液体溶媒流から抽出することとを含む。

#### 【0006】

ある実施形態によると、アルカリ土類金属を備えている固体を処理するためのプロセス(例えば、アルカリ土類金属を備えている鉱物、アルカリ土類金属を備えている廃棄物流、石灰石、石灰、および/またはドロマイト)は、液体溶媒流を生産することと、固体を液体溶媒流と接触して設置することと、組み合わせられた固体および液体溶媒流からのある成分を抽出することとを含む。

20

#### 【0007】

ある側面は、システムに関連する。ある実施形態において、ある成分を含む灰を処理するためのシステムは、液体溶媒流を提供する反応器と、灰を液体溶媒流と接触して設置するための容器とを備えている。

#### 【0008】

いくつかの実施形態において、アルカリ土類金属を備えている固体を処理するためのシステム(例えば、アルカリ土類金属を備えている鉱物、アルカリ土類金属を備えている廃棄物流、石灰石、石灰、および/またはドロマイト)は、液体溶媒流を提供する反応器(例えば、電気化学反応器)と、固体を液体溶媒流と接触して設置するための容器とを備えている。

30

#### 【0009】

本発明の他の利点および新規の特徴が、付随する図面と併せて考慮されたとき、本発明の種々の非限定的な実施形態の以下の詳細な説明から明白な状態となるであろう。本明細書および参照することによって組み込まれる文書が、相反する、および/または矛盾する開示を含む場合、本明細書が、優先されるものとする。

#### 【図面の簡単な説明】

40

#### 【0010】

本発明の非限定的実施形態が、概略的であり、一定の縮尺で描かれることを意図していない、付随する図面を参照して例として説明されるであろう。図では、図示される各同じまたはほぼ同じ構成要素が、典型的に、単一の番号によって表される。明確化の目的のために、当業者が本発明を理解することを可能にするために例証が必要ではない場合、全ての構成要素が、全ての図において標識されているわけでもなく、本発明の各実施形態の全ての構成要素が、示されているわけでもない。

#### 【0011】

【図1A】図1Aは、ある実施形態による第1の電極と、第2の電極と、装置とを備えているシステムの概略図である。

50

【0012】

【図1B】図1Bは、ある実施形態による第1の電極と、第2の電極と、2つの装置とを備えているシステムの概略図である。

【0013】

【図1C】図1Cは、ある実施形態による第1の電極と、第2の電極と、装置と、セパレータとを備えているシステムの概略図である。

【0014】

【図1D】図1Dは、ある実施形態による第1の電極と、第2の電極と、3つの装置とを備えているシステムの概略図である。

【0015】

【図1E】図1Eは、ある実施形態による第1の電極と、第2の電極と、6つの装置とを備えているシステムの概略図である。

【0016】

【図1F】図1Fは、ある実施形態による第1の電極と、第2の電極と、装置と、窯とを備えているシステムの概略図である。

【0017】

【図2A】図2Aは、ある実施形態による第1の電極と、第2の電極とを備え、水素ガスおよび酸素ガスを発生させるシステムの断面概略図である。

【0018】

【図2B】図2Bは、ある実施形態による第1の電極と、第2の電極と、セパレータとを備え、水素ガスおよび酸素ガスを発生させるシステムの断面概略図である。

【0019】

【図2C】図2Cは、ある実施形態による第1の電極と、第2の電極と、セパレーと、2つの装置とを備え、水素ガスおよび酸素ガスを発生させるシステムの断面概略図である。

【0020】

【図2D】図2Dは、ある実施形態による第1の電極と、第2の電極と、セパレータと、2つの装置と、窯とを備え、水素ガスおよび酸素ガスを発生させるシステムの概略図である。

【0021】

【図3A】図3Aは、ある実施形態による2つの反応器を備えているシステムの概略図である。

【0022】

【図3B】図3Bは、ある実施形態による2つの反応器を備えているシステムの概略図であって、第1の反応器は、第1の電極と、第2の電極とを備えている。

【0023】

【図4A】図4Aは、ある実施形態による2つのチャンバを備えているシステムの概略図である。

【0024】

【図4B】図4Bは、ある実施形態による2つのチャンバを備えているシステムの概略図であり、 $\text{CaCO}_3$ が、1つのチャンバ内で溶解させられ、 $\text{Ca(OH)}_2$ が、他のチャンバ内で沈殿させられる。

【0025】

【図5A】図5Aは、ある実施形態による高電圧モードにおける反応器の動作の概略図である。

【0026】

【図5B】図5Bは、高電圧モードを図示するプールベ図である。

【0027】

【図6A】図6Aは、ある実施形態による低電圧モードにおける反応器の動作の概略図である。

【0028】

10

20

30

40

50

【図 6 B】図 6 B は、低電圧モードを図示するプールベ図である。

【0029】

【図 7】図 7 は、1.2 V で動作する 1 kW アルカリ電解槽（実線）と、電気のコストが  $> 0.05 \$ / kWh$  であるとき、2 V で、電気のコストが  $< 0.05 \$ / kWh$  であるとき、0.4 V で動作する同じ量の電流を消費する電解槽（点線）に関する電気コスト対時間のプロットである。

【0030】

【図 8 A】図 8 A は、ある実施形態による低電圧モード A における反応器の動作の概略図である。

【0031】

【図 8 B】図 8 B は、低電圧モード A を図示するプールベ図である。

【0032】

【図 9 A】図 9 A は、ある実施形態による低電圧モード B における反応器の動作の概略図である。

【0033】

【図 9 B】図 9 B は、低電圧モード B を図示するプールベ図である。

【0034】

【図 10 A】図 10 A は、ある実施形態による燃料電池モードにおける反応器の動作の概略図である。

【0035】

【図 10 B】図 10 B は、燃料電池モードを図示するプールベ図である。

【0036】

【図 11】図 11 は、ある実施形態によるいくつかの実施形態に従って沈殿させられた水酸化物を作製するための酸／塩基を作製するための中性 pH 水の電解を示すフローチャートである。

【0037】

【図 12】図 12 は、ある実施形態によるある実施形態に従って沈殿させられた水酸化物を作製するための酸／塩基を作製するためのハロゲン化アルカリ電解質の電解を示すフローチャートである。

【0038】

【図 13】図 13 A - 13 B は、ある実施形態による  $OH^-$  がダイヤフラムまたは膜を交差する電解質中のカチオンによって電荷平衡されることを示す。図 13 A は、ある実施形態による反応器 1 の第 1 の電極（例えば、カソード）において、水が  $OH^-$ （アルカリ溶液）および  $H_2$ （ガス）を与えるために還元されることを示す例証である。図 13 B は、ある実施形態による反応器 1 の第 1 の電極（例えば、カソード）において、 $O_2$  が  $OH^-$ （アルカリ溶液）を与えるために還元されることを示す例証である。

【0039】

【図 14】図 14 A - 14 B は、ある実施形態による化学溶解および沈殿反応を示す。図 14 A は、ある実施形態によるジハロゲン化物が水素ガスと反応させられ、所望の酸を生産することを示す概略図である。図 14 B は、ある実施形態によるジハロゲン化物が、水と反応させられ、所望の酸と、副産物としての酸素とを生産することを示す概略図である。

【0040】

【図 15 A】図 15 A は、例 1 からの天然石灰石、沈殿させられた  $Ca(OH)_2$ 、および検出器からの背景の X 線蛍光スペクトルを示す。

【0041】

【図 15 B】図 15 B は、例 1 からの天然石灰石、天然石灰石から除去された不純物、および天然石灰石から取得された精製され、水和された石灰の写真である。

【0042】

【図 16 A】図 16 A は、例 1 からの石灰窯塵埃、沈殿させられた  $Ca(OH)_2$ 、およ

10

20

30

40

50

び検出器からの背景の X 線蛍光スペクトルを示す。

【0043】

【図16B】図16Bは、例1からの石灰窯塵埃、石灰窯塵埃から除去された不純物、および天然石灰石のから取得された精製され、水和された石灰の写真である。

【発明を実施するための形態】

【0044】

反応器出力を使用して、材料を精製する方法が、本明細書において開示される。関連システムも、説明される。例えば、ある実施形態において、方法は、酸および／または塩基を反応器内で生産することを含む。いくつかの実施形態において、方法は、不純物を備えている第1の物質（例えば、石灰石、ドロマイト、石灰窯塵埃、セメント窯塵埃、灰、および／または廃棄物流）を溶解させることを含む。ある場合、第1の物質を溶解させることは、第1の物質を酸（例えば、反応器内で生産される酸）および／または塩基（例えば、反応器内で生産される塩基）中に溶解させることと、随意に、濾過を用いて、不溶性不純物を除去することとを含む。ある実施形態において、方法は、不溶性不純物（例えば、所望の成分より低い pH において不溶性である不純物）およびより可溶性の不純物（例えば、所望の成分より高い pH において可溶性である不純物）の両方を除去するために、または複数の着目成分を取得するために、異なる pH 値（例えば、次第により低い pH 値）における順次溶解ステップを含む。

【0045】

ある場合、方法は、第2の物質（例えば、第1の物質のある成分、酸化カルシウム、水酸化カルシウム、水酸化マグネシウム、および／または酸化マグネシウム）を沈殿させることを含む。いくつかの事例では、第2の物質を沈殿させることは、第2の物質を塩基（例えば、反応器内で生産される塩基）中に沈殿させることと、随意に、濾過を用いて、可溶性不純物を除去することとを含む。いくつかの実施形態において、方法は、不溶性不純物（例えば、所望の成分より低い pH において不溶性である不純物）およびより可溶性の不純物（例えば、所望の成分より高い pH において可溶性である不純物）の両方を除去するために、または複数の着目成分を取得するために、異なる pH 値（例えば、次第により高い pH 値）における順次沈殿ステップを含む。いくつかの実施形態において、第2の物質は、第1の物質中の濃度に対してより低い濃度（重量比）の不純物（および／または総不純物）を備えている。

【0046】

ある側面は、方法に関連する。

【0047】

いくつかの実施形態において、方法は、酸および／または塩基を反応器内で生産することを含む。反応器、反応器を備えているシステム、および酸および／または塩基を反応器内で生産する方法が、下でさらに詳細に説明される。

【0048】

いくつかの実施形態において、反応器は、電気化学反応器、塩素アルカリ反応器、および／または非電解反応器（例えば、酸バーナ）を備えている。

【0049】

ある実施形態において、方法は、第1の物質を溶解させることを含む。いくつかの実施形態において、第1の物質を溶解させることは、固体（例えば、固体の少なくとも25重量%、少なくとも50重量%、少なくとも75重量%、少なくとも90重量%、または全て）を溶解させ、2つ以上の可溶化されたイオンを形成することを含む。

【0050】

いくつかの事例では、第1の物質は、固体である。ある実施形態において、固体は、結晶性、非晶質、ナノ結晶性、および／またはそれらの混合物である。いくつかの実施形態において、第1の物質は、Ag、Al、As、Au、Ba、Ca、Cd、Cl、Co、Cr、Cu、Fe、Hg、K、Mg、Mn、Mo、Na、Ni、P、Pb、S、Sb、Se、Si、Sn、Ti、Tl、V、W、および／またはZn（例えば、元素形態において、

10

20

30

40

50

または塩として）を備えている。ある場合、第1の物質は、金属、金属合金、半金属、金属塩、金属酸化物、金属水酸化物、および／またはケイ酸塩（例えば、ケイ酸カルシウムおよび／またはケイ酸マグネシウム）を備えている。

【0051】

いくつかの実施形態において、金属および／または金属合金は、鉄、鉄合金、ステンレス鋼、非鉄金属、非鉄合金、アルミニウム、真鍮、青銅、銅、亜鉛、スズ、および／または硬貨合金を備えている。

【0052】

金属塩、金属酸化物、および金属水酸化物の例は、カルシウム、マグネシウム、バリウム、ストロンチウム、マンガン、鉄、コバルト、亜鉛、カドミウム、鉛、および／またはニッケルの塩、酸化物、および水酸化物を含む。例えば、いくつかの実施形態において、金属塩は、金属炭酸塩を備えている。好適な金属炭酸塩の例は、炭酸カルシウム、炭酸マグネシウム、炭酸マグネシウム、炭酸バリウム、炭酸ストロンチウム、炭酸マンガン、炭酸鉄、炭酸コバルト、炭酸亜鉛、炭酸カドミウム、炭酸鉛、および／または炭酸ニッケルを含む。

【0053】

好適な金属酸化物の例は、酸化カルシウム、酸化マグネシウム、酸化ストロンチウム、酸化マンガン、酸化鉄、酸化コバルト、酸化ニッケル、酸化亜鉛、酸化カドミウム、酸化物鉛、二酸化ケイ素、および／または酸化アルミニウムを含む。

【0054】

好適な金属水酸化物の例は、水酸化カルシウム、水酸化マグネシウム、水酸化ストロンチウム、水酸化マンガン、酸化鉄、水酸化コバルト、水酸化ニッケル、水酸化亜鉛、水酸化カドミウム、水酸化鉛、水酸化ケイ素、および／または水酸化アルミニウムを含む。

【0055】

ある実施形態において、第1の物質は、岩石（例えば、堆積岩）を備えている。岩石（例えば、堆積岩）の例は、石灰石および／またはドロマイトを含む。いくつかの事例では、第1の物質は、石灰石、石灰、ドロマイト石灰、および／またはドロマイトを備えている。

【0056】

ある場合、第1の物質は、廃棄物流を備えている。廃棄物流の例は、灰、窯塵埃（例えば、石灰窯塵埃および／またはセメント窯塵埃）、下水沈殿物、冶金プロセスからのスラグ、および／または金属鉱石を含む。灰の例は、主灰（例えば、一般廃棄物燃焼から）および／または飛散灰（例えば、石炭燃焼プラントから）を含む。

【0057】

いくつかの実施形態において、第1の物質（例えば、石灰石、ドロマイト、および／または灰）は、少なくとも1つの不純物を備えている。本明細書で使用されるように、不純物は、標的物質（例えば、第2の物質）以外の任意の物質である。いくつかの実施形態において、2つ以上の標的物質（例えば、第2の物質および第3の物質）が存在し得る。そのような実施形態において、標的物質（例えば、第2の物質）は、他の標的物質（例えば、第3の物質）に関する不純物であり得る。

【0058】

不純物の例は、シリコン、ケイ酸塩（例えば、シリカ）、アルミン酸塩（例えば、アルミナ）、フェライト、塩（例えば、ナトリウム塩）、炭素質物質、有機物、フッ化物、鉱物（例えば、Al、Si、Ca、Cr、Mg、Mn、S、またはFe含有鉱物、SiO<sub>2</sub>、Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>、Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>、KMnO<sub>4</sub>、CaSO<sub>4</sub>、MnO<sub>2</sub>、黄鉄鉱、カオリナイト、イライト、緑泥石、シリカ、菱鉄鉱、ドロマイト、ジルコン、金紅石、イルメナイト、柘榴石、褐鉄鉱、磁鉄鉱、赤鉄鉱、長石、トルマリン、ジルコン、および／または蛍石）、金属（例えば、亜鉛、銅、鉛、クロム、ニッケル、スズ、銀、水銀、バナジウム、モリブデン、アンチモン、カドミウム、ヒ素、アルカリ金属、アルカリ土類金属、周期表の第3-13族金属、第1遷移金属、卑金属、希土類金属、白金族元素、貴金属元素、および

10

20

30

40

50

／または遷移後金属)、元素(例えば、ホウ素、セレン、亜鉛、銅、鉛、クロム、ニッケル、スズ、銀、水銀、バナジウム、モリブデン、アンチモン、カドミウム、および／またはヒ素)、および／または炭酸塩(例えば、 $\text{FeCO}_3$ および／または $\text{Ca(Mg)(CO}_3)_2$ 等の金属炭酸塩)を含む。

#### 【0059】

第1の物質が石灰石またはドロマイトを備えているいくつかの実施形態において、不純物の例は、ケイ酸塩(例えば、シリカ)、アルミン酸塩(例えば、アルミナ)、フェライト、塩(例えば、ナトリウム塩)、炭素質物質、有機物、フッ化物、鉱物(例えば、 $\text{Al}$ 、 $\text{Si}$ 、 $\text{Ca}$ 、 $\text{Cr}$ 、 $\text{Mg}$ 、 $\text{Mn}$ 、 $\text{S}$ 、または $\text{Fe}$ 含有鉱物、 $\text{SiO}_2$ 、 $\text{Al}_2\text{O}_3$ 、 $\text{Fe}_2\text{O}_3$ 、 $\text{KMnO}_4$ 、 $\text{CaSO}_4$ 、 $\text{MnO}_2$ 、黄鉄鉱、カオリナイト、イライト、緑泥石、シリカ、菱鉄鉱、ドロマイト、ジルコン、金紅石、イルメナイト、柘榴石、褐鉄鉱、磁鉄鉱、赤鉄鉱、長石、トルマリン、ジルコン、および／または蛍石)、金属(例えば、亜鉛、銅、鉛、クロム、ニッケル、スズ、銀、水銀、バナジウム、モリブデン、アンチモン、カドミウム、および／またはヒ素)、要素(例えば、ホウ素、セレン、亜鉛、銅、鉛、クロム、ニッケル、スズ、銀、水銀、バナジウム、モリブデン、アンチモン、カドミウム、および／またはヒ素)、および／または炭酸塩(例えば、 $\text{FeCO}_3$ および／または $\text{Ca(Mg)(CO}_3)_2$ 等の金属炭酸塩)を含む。

10

#### 【0060】

第1の物質が灰を備えている、ある実施形態において、不純物の例は、シリコンおよび／または金属(例えば、アルカリ金属、アルカリ土類金属、周期表の第3-13族金属、第1遷移金属、卑金属、希土類金属、白金族元素、貴金属元素、および／または支柱遷移金属)を含む。アルカリ金属の例は、 $\text{Li}$ 、 $\text{Na}$ 、 $\text{K}$ 、 $\text{Rb}$ 、および $\text{Cs}$ を含む。アルカリ土類金属の例は、 $\text{Be}$ 、 $\text{Mg}$ 、 $\text{Ca}$ 、 $\text{Sr}$ 、および $\text{Ba}$ を含む。第1遷移金属の例は、 $\text{Ti}$ 、 $\text{V}$ 、 $\text{Cr}$ 、 $\text{Mn}$ 、 $\text{Fe}$ 、 $\text{Co}$ 、および $\text{Ni}$ を含む。卑金属の例は、 $\text{Cu}$ 、 $\text{Zn}$ 、 $\text{Al}$ 、および $\text{Sn}$ を含む。希土類要素の例は、 $\text{Ce}$ 、 $\text{Dy}$ 、 $\text{Er}$ 、 $\text{Eu}$ 、 $\text{Gd}$ 、 $\text{Ho}$ 、 $\text{La}$ 、 $\text{Lu}$ 、 $\text{Nd}$ 、 $\text{Pr}$ 、 $\text{Pm}$ 、 $\text{Sm}$ 、 $\text{Sc}$ 、 $\text{Tb}$ 、 $\text{Tm}$ 、 $\text{Yb}$ 、および $\text{Y}$ を含む。白金族または貴金属元素の例は、 $\text{Ru}$ 、 $\text{Rh}$ 、 $\text{Pd}$ 、 $\text{Re}$ 、 $\text{Os}$ 、 $\text{Ir}$ 、 $\text{Pt}$ 、 $\text{Au}$ 、および $\text{Ag}$ を含む。遷移後金属の例は、 $\text{Ga}$ 、 $\text{Ge}$ 、 $\text{As}$ 、 $\text{Se}$ 、 $\text{Cd}$ 、 $\text{In}$ 、 $\text{Sb}$ 、 $\text{Te}$ 、 $\text{Tl}$ 、 $\text{Pb}$ 、 $\text{Bi}$ 、 $\text{Po}$ 、および $\text{Th}$ および $\text{U}$ を含む。

20

#### 【0061】

ある場合、第1の物質は、不純物(および／または総不純物)の第1の濃度を備えている。例えば、いくつかの実施形態において、不純物(および／または総不純物)の第1の濃度は、第1の物質の総重量の0.0001重量%以上、0.001重量%以上、0.01重量%以上、0.1重量%以上、1重量%以上、3重量%以上、5重量%以上、10重量%以上、15重量%以上、20重量%以上、25重量%以上、30重量%以上、35重量%以上、40重量%以上、50重量%以上、60重量%以上、70重量%以上、80重量%以上、または90重量%以上である。ある実施形態において、不純物(および／または総不純物)の第1の濃度は、第1の物質の総重量の99重量%以下、95重量%以下、90重量%以下、80重量%以下、70重量%以下、60重量%以下、50重量%以下、45重量%以下、40重量%以下、35重量%以下、30重量%以下、25重量%以下、20重量%以下、15重量%以下、10重量%以下、5重量%以下、1重量%以下、0.5重量%以下、または0.1重量%以下である。これらの範囲の組み合わせも、可能である(例えば、0.0001重量%以上であり、かつ99重量%以下、1重量%以上であり、かつ99重量%以下、1重量%以上であり、かつ50重量%以下、0.001重量%以上であり、かつ5重量%以下、または、3重量%以上であり、かつ40重量%以下)。

30

40

#### 【0062】

ある実施形態において、方法は、第1の物質(例えば、不純物の第1の濃度を備えている第1の物質)を第1の溶液中に溶解させることを含む。いくつかの実施形態によると、第1の溶液は、反応器内で生産される酸および／または塩基を備えている。ある場合、第1の溶液は、反応器内で生産される希釈されていない酸および／または塩基を備えている

50

。ある事例では、第1の溶液は、反応器内で生産される希釈された酸および／または塩基を備えている。いくつかの実施形態において、第1の溶液は、濃縮されている反応器内で生産された酸および／または塩基を備えている。

【0063】

いくつかの実施形態において、第1の溶液は、酸（例えば、反応器内で生産される酸）を備えている。ある実施形態によると、第1の溶液のpHは、7未満、6以下、5以下、4以下、3以下、2以下、1以下、または0以下である。いくつかの実施形態において、第1の溶液のpHは、-5以上、-2以上、0以上、1以上、2以上、3以上、4以上、または5以上である。ある場合、第1の溶液のpHは、0である。これらの範囲の組み合わせも、可能である（例えば、-5以上であり、かつ7未満、-2以上であり、かつ1以下、0以上であり、かつ7未満、または0以上であり、かつ5以下）。

10

【0064】

ある実施形態において、第1の溶液は、塩基（例えば、反応器内で生産される塩基）を備えている。いくつかの実施形態によると、第1の溶液のpHは、7を上回る、8以上、9以上、10以上、11以上、12以上、13以上、または14以上である。ある実施形態によると、第1の溶液のpHは、19以下、16以下、14以下、13以下、12以下、11以下、10以下、9以下、または8以下である。ある場合、第1の溶液のpHは、14である。これらの範囲の組み合わせも、可能である（例えば、7を上回り、かつ19以下、9以上であり、かつ16以下、7を上回り、かつ14以下、または、9以上であり、かつ14以下）。

20

【0065】

ある場合、方法は、第2の物質を沈殿させることを含む。いくつかの実施形態において、第2の物質を沈殿させることは、2つ以上の可溶化されたイオンの一部（例えば、少なくとも25重量%、少なくとも50重量%、少なくとも75重量%、少なくとも90重量%、または全て）を沈殿させ、固体を形成することを含む。

【0066】

ある実施形態において、第2の物質は、結晶性固体、非晶質固体、ナノ結晶性固体、および／またはそれらの混合物である。いくつかの実施形態において、第2の物質は、Ag、Al、As、Au、Ba、Ca、Cd、Cl、Co、Cr、Cu、Fe、Hg、K、Mg、Mn、Mo、Na、Ni、P、Pb、S、Sb、Se、Si、Sn、Ti、Tl、V、W、および／またはZn（例えば、元素形態において、または塩として）を備えている。ある場合、第2の物質は、金属、金属合金、半金属、金属塩、金属酸化物（例えば、アルカリ土類金属酸化物（例えば、酸化カルシウムおよび／または酸化マグネシウム）および／または遷移金属酸化物）、金属水酸化物（例えば、アルカリ土類金属水酸化物（例えば、水酸化カルシウムおよび／または水酸化マグネシウム）および／または遷移金属水酸化物）、および／またはケイ酸塩（例えば、本明細書に説明される任意の金属、金属合金、半金属、金属塩、金属酸化物、金属水酸化物、および／またはケイ酸塩）を備えている。例えば、ある事例では、第2の物質は、水酸化カルシウム、酸化カルシウム、水酸化マグネシウム、および／または酸化マグネシウムを備えている。

30

【0067】

ある実施形態によると、第2の物質は、第1の物質の重要な成分である（例えば、第2の物質は、第1の物質の総重量の）50重量%以上、70重量%以上、または90重量%以上である。例えば、ある場合、第1の物質は、主として（例えば、第1の物質の総重量の50重量%以上）、ある化合物（例えば、水酸化カルシウム）と、少なくとも1つの不純物とを備え、第2の物質は、主として（例えば、第2の物質の総重量の50重量%以上）、同じ化合物（例えば、水酸化カルシウム）と、より低いレベル（または無）のその不純物とを備えている。

40

【0068】

いくつかの実施形態によると、第2の物質は、第1の物質の有意な成分ではない（例えば、第2の物質は、第1の物質の総重量の50重量%未満、40重量%以下、20重量%

50

以下、または10重量%以下である)。例えば、ある事例では、第1の物質は、主として(例えば、第1の物質の総重量の50重量%以上)、ある化合物(例えば、炭酸カルシウムまたはカルシウム炭酸マグネシウム)と、少なくとも1つの不純物とを備え、第2の物質は、主として(例えば、第2の物質の総重量の50重量%以上)、異なる化合物(例えば、水酸化カルシウム、酸化カルシウム、水酸化マグネシウム、または酸化マグネシウム)と、より低いレベル(または無)のその不純物とを備えている。

【0069】

いくつかの実施形態によると、第2の物質は、不純物(および/または総不純物)の第2の濃度を備えている。例えば、いくつかの実施形態において、不純物(および/または総不純物)の第2の濃度は、第2の物質の総重量の40重量%以下、35重量%以下、30重量%以下、25重量%以下、20重量%以下、15重量%以下、10重量%以下、5重量%以下、3重量%以下、1重量%以下、0.5重量%以下、0.1重量%以下、0.01重量%以下、0.001重量%以下、0.0001重量%以下、または0.00001重量%以下の1重量%。ある場合、不純物の第2の濃度(および/または総不純物)は、第2の物質の総重量の0重量%以上、0.00001重量%以上の0.1重量%、0.00001重量%以上の1重量%、0.0001重量%以上、0.001重量%以上、0.01重量%以上、0.1重量%以上、0.5重量%以上、1重量%以上、3重量%以上、5重量%以上、または10重量%以上である。いくつかの実施形態において、第2の物質は、不純物(および/または総不純物)が実質的にない(例えば、第2の物質の総重量の0.1重量%以下)か、または、ない(例えば、第2の物質の総重量の0重量%)。これらの範囲の組み合わせも、可能である(例えば、0重量%以上であり、かつ40重量%以下、または、0重量%以上であり、かつ10重量%以下)。

【0070】

ある実施形態によると、第2の物質中の不純物(および/または総不純物)の濃度(例えば、第2の濃度)は、第1の物質中の不純物(および/または総不純物)の濃度(例えば、第1の濃度)より低い。例えば、ある場合、(第2の物質の総重量に対する)不純物(および/または総不純物)の第2の濃度は、質量ベースで、(第1の物質の総重量に対する)不純物(および/または総不純物)の第1の濃度に対して、少なくとも10%、少なくとも15%、少なくとも20%、少なくとも25%、少なくとも30%、または少なくとも40%低い。ある事例では、(第2の物質の総重量に対する)不純物(および/または総不純物)の第2の濃度は、質量ベースで、(第1の物質の総重量に対する)不純物(および/または総不純物)の第1の濃度に対して、50%未満、45%以下、40%以下、35%以下、30%以下、25%以下、20%以下、または、15%以下低い。これらの範囲の組み合わせも、可能である(例えば、少なくとも10%かつ50%未満、または少なくとも10%かつ45%以下)。第2の物質中の不純物(および/または総不純物)の濃度は、第2の物質中の不純物の濃度が、質量ベースで、第1の物質中の不純物の濃度の90重量%以下であるとき、質量ベースで、第1の物質中の不純物(および/または総不純物)の濃度より少なくとも10%低い。例えば、不純物の第1の濃度が、第1の物質の総重量の50%であり、不純物の第2の濃度が、第2の物質の総重量の45%である場合、不純物の第2の濃度は、第2の物質中に存在する不純物が、第1の物質中に存在する不純物の量より5重量%低く、5重量%が、50重量%の10%であるので、質量ベースで、不純物の第1の濃度に対して、10%低いであろう。

【0071】

いくつかの実施形態において、溶解ステップおよび/または沈殿ステップは、不純物の一部または全てを除去する。

【0072】

ある場合、方法は、第2の物質(例えば、不純物の第2の濃度を備えている第2の物質)を第2の溶液中に沈殿させることを含む。いくつかの実施形態によると、第2の溶液は、反応器内で生産される酸および/または塩基を備えている。ある場合、第2の溶液は、反応器内で生産される希釈されていない酸および/または塩基を備えている。ある事例で

10

20

30

40

50

は、第2の溶液は、反応器内で生産される希釈された酸および／または塩基を備えている。いくつかの実施形態において、第2の溶液は、濃縮されている反応器内で生産された酸および／または塩基を備えている。ある事例では、第1の溶液および第2の溶液のうちの少なくとも1つは、反応器内で生産される酸および／または塩基を備えている（例えば、反応器内で生産される希釈された酸および／または塩基）。

【0073】

いくつかの実施形態において、第2の溶液は、酸（例えば、反応器内で生産される酸）を備えている。ある実施形態によると、第2の溶液のpHは、7未満、6以下、5以下、4以下、3以下、2以下、1以下、または0以下である。いくつかの実施形態において、第2の溶液のpHは、-5以上、-2以上、0以上、1以上、2以上、3以上、4以上、または5以上である。ある場合、第2の溶液のpHは、0である。これらの範囲の組み合わせも、可能である（例えば、-5以上であり、かつ7未満、-2以上であり、かつ1以下、0以上であり、かつ7未満、または、0以上であり、かつ5以下）。

10

【0074】

ある実施形態において、第2の溶液は、塩基（例えば、反応器内で生産される塩基）を備えている。いくつかの実施形態によると、第2の溶液のpHは、7を上回る、8以上、9以上、10以上、11以上、12以上、13以上、または14以上である。ある実施形態によると、第2の溶液のpHは、19以下、16以下、14以下、13以下、12以下、11以下、10以下、9以下、または8以下である。ある場合、第2の溶液のpHは、14である。これらの範囲の組み合わせも、可能である（例えば、7を上回り、かつ19以下、9以上であり、かつ16以下、7を上回り、かつ14以下、または8以上であり、かつ14以下）。例えば、ある場合、第2の溶液のpHは、7以上であり、かつ10未満である（例えば、第2の物質が、MgOまたはMg(OH)<sub>2</sub>等のマグネシウムを備えているとき、例えば、第2の溶液が、室温にあるとき）。ある事例では、第2の溶液のpHは、10以上であり、かつ14以下（例えば、第2の物質は、CaOまたはCa(OH)<sub>2</sub>等のカルシウムを備えているとき、例えば、第2の溶液が、室温にあるとき）。

20

【0075】

いくつかの実施形態において、第2の溶液は、第2の物質の沈殿を引き起こすであろう沈殿剤を備えている。好適な沈殿剤の例は、金属硝酸塩、金属硫酸塩、金属塩化物、金属炭酸塩、金属シュウ酸塩、または他の金属塩の沈殿をもたらすアニオンを提供する化合物を含む。沈殿剤の例は、CO<sub>2</sub>（例えば、CaCO<sub>3</sub>またはMgCO<sub>3</sub>等の炭酸塩を沈殿させるため）、硫酸塩イオン（例えば、硫酸ナトリウム）（例えば、CaSO<sub>4</sub>またはMgSO<sub>4</sub>等の硫酸塩を沈殿させるため）、フッ化物、塩化物、亜硫酸塩、および／またはリン酸塩を含む。

30

【0076】

ある実施形態において、方法は、順次溶解および／または沈殿ステップを含む。

【0077】

例えば、いくつかの実施形態によると、第1の物質は、複数の成分を備えている。成分の例は、不純物（例えば、本明細書に説明される任意の不純物）および／または金属、金属合金、半金属、金属塩、金属酸化物、金属水酸化物、および／またはケイ酸塩（例えば、本明細書に説明される任意の金属、金属合金、半金属、金属塩、金属酸化物、金属水酸化物、および／またはケイ酸塩）を含む。ある実施形態において、方法は、順次、第1の物質の1つ以上の成分（例えば、第1の成分、第2の成分、第3の成分、および／または第4の成分）を1つ以上の溶解溶液（例えば、上で説明される第1の溶液、第2の溶解溶液、第3の溶解溶液、および／または第4の溶解溶液）中に溶解させることを含む。

40

【0078】

ある事例では、溶解溶液の各々は、異なるpHを有する。いくつかの実施形態によると、溶解溶液のうちの1つ以上は、独立して、第1の溶液のpHより低い（例えば、少なくとも0.5 pH単位低い、少なくとも1 pH単位低い、または少なくとも2 pH単位低い、6 pH単位以下低い、4 pH単位以下低い、または3 pH単位以下低く、これらの範囲

50

の組み合わせも可能) pHを有する。ある実施形態によると、溶解溶液のうちの1つ以上は、独立して、第1の溶液のpHより高い(例えば、少なくとも0.5 pH単位高い、少なくとも1 pH単位高い、または少なくとも2 pH単位高い、6 pH単位以下高い、4 pH単位以下高い、または3 pH単位以下高く、これらの範囲の組み合わせも可能) pHを有する。

【0079】

例えば、いくつかの事例では、第1の物質は、3つの成分を備え、第1の成分は、第1の溶液(例えば、反応器から生産される希釈された酸)中に溶解させられ、第2の成分は、第2の溶解溶液(例えば、反応器から生産される希釈されていない酸)中に溶解させられ、第3の成分は、固体形態のままである。

10

【0080】

いくつかの実施形態において、方法は、順次溶解ステップの合間に濾過する(例えば、固体を濾出する)ことを含む。例えば、上記の例では、方法は、ある場合、溶解させられた第1の成分を濾過し、残りの固体から分離することと、溶解させられた第2の成分を濾過し、残りの固体から分離することを含む。

【0081】

ある実施形態において、順次溶解は、1つのみの溶解ステップと比較して、不純物の増加させられた除去をもたらす(例えば、第1の成分および第3の成分が、上記の例において、不純物である場合)。いくつかの実施形態において、順次溶解は、増加させられた着目出力を取得することをもたらす(例えば、第1の成分および第2の成分の両方が、上記の例において、着目出力である場合)。

20

【0082】

いくつかの実施形態によると、方法は、順次、1つ以上の追加の物質(例えば、第3の物質、第4の物質、第5の物質、および/または第6の物質)を1つ以上の追加の溶液(例えば、第3の溶液、第4の溶液、第5の溶液、および/または第6の溶液)中に沈殿させることを含む。いくつかの実施形態によると、1つ以上の追加の物質は、金属、金属合金、半金属、金属塩、金属酸化物、金属水酸化物、および/またはケイ酸塩(例えば、本明細書に説明される任意の金属、金属合金、半金属、金属塩、金属酸化物、金属水酸化物、および/またはケイ酸塩)を備えている。ある場合、追加の物質のうちの1つ以上は、独立して、第1の物質中の不純物(および/または総不純物)の第1の濃度より低い濃度(例えば、少なくとも10重量%、少なくとも20重量%、少なくとも30重量%、50重量%未満、40重量%以下、または20重量%以下であり、これらの範囲の組み合わせも可能)の不純物(および/または総不純物)を有する。ある事例では、追加の溶液のうちの1つ以上は、独立して、第2の溶液のpHより高い(例えば、少なくとも0.5 pH単位高い、少なくとも1 pH単位高い、または少なくとも2 pH単位高い、6 pH単位以下高い、4 pH単位以下高い、または3 pH単位以下高く、これらの範囲の組み合わせも可能) pHを有する。ある場合、追加の溶液のうちの1つ以上は、独立して、第2の溶液のpHより低い(例えば、少なくとも0.5 pH単位低い、少なくとも1 pH単位低い、または少なくとも2 pH単位低い、6 pH単位以下低い、4 pH単位以下低い、または3 pH単位以下低く、これらの範囲の組み合わせも可能) pHを有する。

30

40

【0083】

例えば、ある実施形態において、方法は、第3の物質を沈殿させることを含む。いくつかの実施形態によると、第3の物質は、金属(例えば、元素金属)、金属合金、半金属、金属塩、金属酸化物(例えば、アルカリ土類金属酸化物(例えば、酸化カルシウムおよび/または酸化マグネシウム)および/または遷移金属酸化物)、金属水酸化物(例えば、アルカリ土類金属水酸化物(例えば、水酸化カルシウムおよび/または水酸化マグネシウム)および/または遷移金属水酸化物)、および/またはケイ酸塩(例えば、本明細書に説明される任意の金属、金属合金、半金属、金属塩、金属酸化物、金属水酸化物、および/またはケイ酸塩)を備えている。ある実施形態によると、第3の物質は、第1の物質中の不純物(および/または総不純物)の第1の濃度に対して、不純物(および/または総

50

不純物)のより低い濃度(例えば、第3の濃度)(例えば、少なくとも10%、少なくとも20%、少なくとも30%、50%未満、40%以下、または20%以下であり、これらの範囲の組み合わせも可能)を有する。ある場合、第3の溶液は、第2の溶液のpHより高い(例えば、少なくとも0.5pH単位高い、少なくとも1pH単位高い、または少なくとも2pH単位高い、6pH単位以下高い、4pH単位以下高い、または3pH単位以下高く、これらの範囲の組み合わせも可能)pHを有する。ある場合、第3の溶液は、第2の溶液のpHより低い(例えば、少なくとも0.5pH単位低い、少なくとも1pH単位低い、または少なくとも2pH単位低い、6pH単位以下低い、4pH単位以下低い、または3pH単位以下低く、これらの範囲の組み合わせも可能)pHを有する。

【0084】

10

非限定的例として、いくつかの実施形態において、方法は、第1の物質(例えば、カルシウム炭酸マグネシウム)を第1の溶液(例えば、反応器内で生産される酸)中に溶解させることと、第2の物質(例えば、水酸化マグネシウム)を第2の溶液(例えば、希釈された反応器内で生産される塩基)中に沈殿させることと、第3の物質(例えば、水酸化カルシウム)を第3の溶液(例えば、非希釈された反応器内で生産される塩基)中に沈殿させることとを含む。

【0085】

いくつかの実施形態において、方法は、順次沈殿ステップの合間に濾過する(例えば、沈殿させられた固体を濾出する)ことを含む。例えば、ある場合、方法は、第2の物質を沈殿させることと、第2の物質を濾過し、残りの液体から分離することと、第3の物質を

20

残りの液体から沈殿させることとを含む。

【0086】

ある実施形態において、順次沈殿は、1つのみの沈殿ステップと比較して、不純物の増加させられた除去をもたらす。いくつかの実施形態において、順次沈殿は、増加させられた着目出力を取得する結果をもたらす。

【0087】

ある実施形態において、pH以外の種々の要因が、本明細書に開示される種々の物質および／または成分の溶解度に影響を及ぼし得る。

【0088】

いくつかの実施形態において、温度が、種々の物質および／または成分の溶解度に影響を及ぼす。いくつかの実施形態において、溶解ステップおよび／または沈殿ステップのうちの1つ以上の温度の各々は、独立して、-10℃以上、-5℃以上、0℃以上、5℃以上、10℃以上、15℃以上、20℃以上、30℃以上、40℃以上、または50℃以上であり得る。ある実施形態において、溶解ステップおよび／または沈殿ステップのうちの1つ以上の温度の各々は、独立して、100℃以下、90℃以下、80℃以下、70℃以下、60℃以下、50℃以下、40℃以下、30℃以下、25℃以下、20℃以下、15℃以下、10℃以下、5℃以下、または0℃以下であり得る。いくつかの実施形態において、溶解ステップおよび／または沈殿ステップのうちの1つ以上の温度は、室温であり得る。これらの範囲の組み合わせも、可能である(例えば、-10℃以上であり、かつ50℃以下、-5℃以上であり、かつ10℃以下、15℃以上であり、かつ25℃以下、または

30

40

【0089】

ある場合、温度は、溶解および／または沈殿ステップの一部または全てのためにほぼ同じ(例えば、摂氏5度以内、摂氏3度以内、または摂氏1度以内)である。いくつかの事例では、温度は、溶解および／または沈殿ステップの一部または全てのために異なる(例えば、5度を上回って、10度を上回って、または15度を上回って異なる)。

【0090】

ある実施形態によると、沈殿ステップの温度は、形成される結晶のサイズに影響を及ぼす。例えば、ある場合、より高い温度(例えば、50℃以上である)は、より小さい結晶をもたらす一方、より低い温度(例えば、15℃以下)は、より大きい結晶をもたらす。

50

## 【0091】

ある場合、攪拌（例えば、かき混ぜ、超音波処理、および／または揺さぶり）が、種々の物質および／または成分の溶解度に影響を及ぼす。ある事例では、溶解ステップおよび／または沈殿ステップのうちの1つ以上は、攪拌を含む。

## 【0092】

いくつかの実施形態によると、所与のステップ（例えば、溶解ステップおよび／または沈殿ステップ）のために可能にされる時間の量が、種々の物質および／または成分の溶解度に影響を及ぼす。ある実施形態によると、溶解ステップおよび／または沈殿ステップのうちの1つ以上のための時間の各々は、独立して、1分以上、5分以上、10分以上、15分以上、30分以上、1時間以上、6時間以上、12時間以上、または24時間以上であり得る。いくつかの実施形態において、溶解ステップおよび／または沈殿ステップのうちの1つ以上のための時間の各々は、独立して、48時間以下、36時間以下、24時間以下、12時間以下、6時間以下、1時間以下、30分以下、15分以下、または5分以下であり得る。これらの範囲の組み合わせも、可能である（例えば、1分以上であり、かつ48時間以下、または5分以上であり、かつ30分以下）。

10

## 【0093】

ある実施形態によると、沈殿ステップのために可能にされる時間の量が、形成される結晶のサイズに影響を及ぼす。例えば、ある場合、より短い沈殿時間（例えば、5分以下）は、より小さい結晶をもたらす一方、より長い沈殿時間（例えば、10分以上）は、より大きい結晶をもたらす。

20

## 【0094】

いくつかの実施形態において、印加される電気電位が、種々の物質および／または成分の溶解度に影響を及ぼす。いくつかの実施形態において、溶解ステップおよび／または沈殿ステップのうちの1つ以上の間、印加される電気電位（例えば、電解採取によって）の各々は、独立して、標準的水素電極に対して、 $-3\text{ V}$ 以上、 $-1\text{ V}$ 以上、または $0\text{ V}$ 以上であり得る。ある実施形態において、溶解ステップおよび／または沈殿ステップのうちの1つ以上の間、印加される電気電位（例えば、電解採取によって）の各々は、独立して、標準的水素電極に対して、 $2\text{ V}$ 以下、 $0\text{ V}$ 以下、または $-2\text{ V}$ 以下であり得る。これらの範囲の組み合わせも、可能である（例えば、 $-3\text{ V}$ 以上であり、かつ $2\text{ V}$ 以下）。

## 【0095】

ある側面は、システム（例えば、反応器）に関する。そのようなシステムの非限定的例は、図1A-3Bに示される。

30

## 【0096】

本明細書に開示される方法のための好適な反応器およびシステムは、2019年1月16日に出願された米国仮特許出願第62/793,294号、2019年2月1日出願された米国仮特許出願第62/800,220号、2019年3月14日出願された米国仮特許出願第62/818,604号、2019年8月15日出願された米国仮特許出願第62/887,143号、2020年1月16日出願された米国仮特許出願第62/962,061号、2020年1月16日出願された国際特許出願第PCT/US2020/01387号、および2020年3月13日出願された国際特許出願第PCT/US2020/022672号（その全ては、あらゆる目的のために、参照することによってその全体として本明細書に組み込まれる）に説明される。

40

## 【0097】

ある実施形態において、溶解ステップおよび／または沈殿ステップのうちの1つ以上は、反応器の内側で生じる。いくつかの実施形態において、方法は、反応器内で生産される酸および／または塩基を収集および／または貯蔵することを含む。ある実施形態において、方法は、反応器内で生産される酸および／または塩基を濃縮することを含む。ある実施形態によると、溶解ステップおよび／または沈殿ステップのうちの1つ以上は、反応器の外側で生じる。

## 【0098】

50

いくつかの実施形態において、システム（例えば、反応器）は、少なくとも部分的に（例えば、少なくとも10%、少なくとも25%、少なくとも50%、少なくとも75%、少なくとも90%、または100%）再生可能電気（例えば、太陽熱エネルギーおよび／または風力エネルギー）によって給電される。ある場合、システムは、反応器を備えていない実質的に類似するシステムより低い（例えば、少なくとも10%低い、少なくとも25%低い、少なくとも50%低い、少なくとも75%低い、または少なくとも90%低い）、正味炭素排出量を有する。いくつかの事例では、システムは、正味ゼロ炭素排出量を有する。

#### 【0099】

いくつかの実施形態において、システムは、第1の電極を備えている。いくつかの実施形態において、第1の電極は、カソードを備えている。例えば、図1Aを参照すると、いくつかの実施形態において、システム100は、第1の電極104（例えば、カソード）を備えている。同様に、図2Aを参照すると、いくつかの実施形態において、システム200は、第1の電極104（例えば、カソード）を備えている。ある実施形態において、第1の電極は、比較的にアルカリ条件下で（例えば、本明細書に説明されるアルカリ領域および／または塩基中において）安定している電子導体であるように選択される。

#### 【0100】

ある実施形態において、第1の電極は、金属電極（白金、金、ニッケル、イリジウム、銅、鉄、鋼鉄、ステンレス鋼、マンガン、および／または亜鉛等）、炭素（黒鉛または不規則炭素等）、または金属炭化物（炭化ケイ素、炭化チタン、および／または炭化タングステン等）を備えている。ある実施形態において、第1の電極は、金属合金（例えば、ニッケル-クロム-鉄合金、ニッケル-モリブデン-カドミウム合金）、金属酸化物（例えば、酸化イリジウム、コバルト酸ニッケル鉄、コバルト酸ニッケル、コバルト酸リチウム、コバルト酸ランタンストロンチウム、酸化バリウムストロンチウム鉄、酸化マンガンモリブデン、二酸化ルテニウム、酸化イリジウムルテニウムタンタル）、金属有機フレームワーク、または金属硫化物（例えば、硫化モリブデン）を備えている。ある実施形態において、電気触媒または電極材料は、伝導性支持体上に分散またはコーティングされる。

#### 【0101】

いくつかの実施形態において、システムは、第2の電極を備えている。いくつかの実施形態において、第2の電極は、アノードを備えている。例えば、図1Aに戻って参照すると、いくつかの実施形態において、システム100は、第2の電極105（例えば、アノード）を備えている。同様に、図2Aに戻って参照すると、いくつかの実施形態において、システム200は、第2の電極105（例えば、アノード）を備えている。いくつかの実施形態において、第2の電極は、第1の電極に電気化学的に結合される。すなわち、電極は、それらが電気化学プロセスに関わることが可能であるように構成されることができる。電気化学結合は、例えば、第1および第2の電極を2つの電極間のイオン輸送を促進する、電解質にさらすことによって、達成されることができる。図1Aを参照すると、いくつかの実施形態において、第1の電極104は、第2の電極105に電気化学的に結合される。同様に、図2Aを参照すると、いくつかの実施形態において、第1の電極104は、第2の電極105に電気化学的に結合される。

#### 【0102】

ある実施形態において、第2の電極は、比較的に酸性条件下で（例えば、本明細書に説明される酸性領域および／または酸中において）安定している電子導体であるように選択される。ある実施形態において、第2の電極は、金属電極（白金、パラジウム、鉛、および／またはスズ等）または金属酸化物（遷移金属酸化物等）を備えている。

#### 【0103】

ある実施形態において、第1の電極および／または第2の電極は、触媒を備えている。いくつかの実施形態において、カソード触媒は、アルカリ条件下で安定しているように選択される。カソード触媒は、いくつかの実施形態において、ニッケル、鉄、遷移金属硫化物（硫化モリブデン等）、および／または遷移金属酸化物（ $\text{MnO}_2$ 、 $\text{Mn}_2\text{O}_3$ 、 $\text{Mn}$

3 O<sub>4</sub>、酸化ニッケル、水酸化ニッケル、酸化鉄、水酸化鉄、コバルト酸化物等)、混合された遷移金属スピネル酸化物 (MnCo<sub>2</sub>O<sub>4</sub>、CoMn<sub>2</sub>O<sub>4</sub>、MnFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub>、ZnCoMnO<sub>4</sub>等)等を備えていることができる。いくつかの実施形態において、アノード触媒は、酸性条件下で安定しているように選択される。いくつかの実施形態において、アノード触媒は、白金、イリジウム、またはその酸化物を備えている。

#### 【0104】

いくつかの実施形態において、システムは、反応器 (例えば、電気化学反応器) を備えている。例えば、図1Aを参照すると、いくつかの実施形態において、システム100は、反応器を備えている。同様に、図2Aを参照すると、ある場合、システム200は、反応器を備えている。いくつかの実施形態において、反応器は、第1の電極と、第2の電極とを備えている。例えば、いくつかの実施形態において、第1の電極は、反応器内で第2の電極に電気化学的に結合される。例えば、図1Aを参照すると、いくつかの実施形態において、第1の電極104は、反応器内で第2の電極105に電気化学的に結合される。同様に、図2Aを参照すると、ある場合、第1の電極104は、反応器内で第2の電極105に電気化学的に結合される。

10

#### 【0105】

ある実施形態において、反応器は、液体溶媒流 (例えば、本明細書に開示される任意の液体溶媒流) (例えば、酸性および/または塩基性) を提供するように構成されている。いくつかの実施形態において、反応器は、電気化学反応器、塩素アルカリ反応器、および/または非電解反応器 (例えば、酸バーナ) を備えている。

20

#### 【0106】

ある実施形態によると、電気化学反応器は、中性水電解槽を備えている。ある場合、中性水電解槽および/または反応器は、酸流 (例えば、酸素発生カソード等のカソードにおいて) を生産し、および/または、アルカリ流 (例えば、水素発生アノード等のアノードにおいて) を生産するように構成されている。ある事例では、中性水電解槽および/または反応器は、物質 (例えば、灰等の本明細書に開示される任意の物質) 中に存在する金属塩 (例えば、カルシウム塩)、金属酸化物、ケイ酸塩、および/または金属合金を選択的に溶解させるために酸流を方向づけるように構成されている。いくつかの事例では、中性水電解槽および/または反応器は、アルカリ土類金属水酸化物、遷移金属水酸化物、アルカリ土類金属酸化物、遷移金属酸化物、元素金属、および/または水和された石灰を沈殿させるために使用されるようにアルカリ流を方向づけるよう構成されている。

30

#### 【0107】

ある実施形態において、システムは、ある成分を含む物質 (例えば、灰等の本明細書に開示される任意の物質) を処理するように構成されている。ある実施形態において、システムは、固体 (例えば、アルカリ土類金属を備えている固体) を処理するように構成されている。ある場合、固体 (例えば、アルカリ土類金属を備えている固体) は、アルカリ土類金属を備えている鉱物、アルカリ土類金属を備えている廃棄物流、石灰石、石灰、および/またはドロマイトを備えている。いくつかの事例では、固体は、ある成分を備えている。

#### 【0108】

いくつかの実施形態において、システムは、成分が、物質 (例えば、灰等の本明細書に開示される任意の物質) および/または固体 (例えば、アルカリ土類金属を備えている固体) と組み合わせられた液体溶媒流から選択的に沈殿または溶解させられるように構成されている。

40

#### 【0109】

いくつかの実施形態において、システムは、容器および/または装置 (例えば、図1A-1F、2C-2D、および3A-3Bの装置118等の本明細書に開示される任意の容器および/または装置) を備えている。ある実施形態によると、容器は、物質 (例えば、灰等の本明細書に開示される任意の物質) および/または固体を液体溶媒流と接触して設置するためのものである/ために構成されている。

50

## 【0110】

ある側面は、プロセスに関連し、それは、図1A-3Bに関連して理解され得る。

## 【0111】

いくつかの実施形態において、プロセスは、ある成分を含む物質（例えば、灰等の本明細書に開示される任意の物質）を処理するためのものである。ある場合、プロセスは、固体（例えば、アルカリ土類金属を備えている固体）を処理するためのものである。ある場合、固体（例えば、アルカリ土類金属を備えている固体）は、アルカリ土類金属を備えている鉱物、アルカリ土類金属を備えている廃棄物流、石灰石、石灰、および／またはドロマイトを備えている。いくつかの事例では、固体は、ある成分を備えている。

## 【0112】

ある実施形態において、プロセスは、液体溶媒流（例えば、酸性および／または塩基性）を生産すること（例えば、本明細書に説明されるような反応器から）を含む。

## 【0113】

ある場合、プロセスは、物質（例えば、灰等の本明細書に開示される任意の物質）および／または固体（例えば、アルカリ土類金属を備えている固体）を液体溶媒流と接触して設置することを含む。ある事例では、プロセスは、ある成分を物質（例えば、灰等の本明細書に開示される任意の物質）および／または固体（例えば、アルカリ土類金属を備えている固体）と組み合わせられた液体溶媒流から抽出することを含む。ある実施形態において、物質および／または固体の成分は、液体溶媒流によって選択的に溶解させられる。いくつかの実施形態において、成分は、物質および／または固体と組み合わせられた液体溶媒流から選択的に沈殿させられる。いくつかの事例では、成分は、電解採取を使用して、物質および／または固体と組み合わせられた液体溶媒流から選択的に沈殿させられる。

## 【0114】

ある側面は、方法に関連し、それは、図1A-3Bに関連して理解され得る。

## 【0115】

いくつかの実施形態において、方法は、反応器（例えば、本明細書に説明される任意の反応器）を稼働させることを含む。ある場合、反応器を稼働させることは、電流を反応器の電極に印加することを含む。いくつかの実施形態において、反応器を稼働させることは、少なくとも1つの化学反応が反応器内で生じることをもたらす。

## 【0116】

ある実施形態において、方法は、第1のモードにおいて、反応器を稼働させることを含む。いくつかの実施形態において、第1のモードは、塩基を第1の電極の近くで生産することを含む（例えば、塩基は、第1の電極における電気化学反応の結果として生産される）。例えば、図1Aを参照すると、いくつかの実施形態において、第1のモードは、塩基を第1の電極104の近くで生産することを含む。同様に、図2Aを参照すると、ある場合、第1のモードは、塩基を第1の電極104の近くで生産することを含む。

## 【0117】

ある実施形態において、第1の電極（例えば、第1のモードにある）は、塩基性出力（例えば、本明細書に説明される塩基のいずれか）を生産するように構成されている。いくつかの実施形態において、塩基性出力は、第1の電極における電気化学反応の結果として生産される。例えば、図1Aを参照すると、いくつかの実施形態において、第1の電極104は、塩基を生産するように構成されている。同様に、図2Aを参照すると、いくつかの事例では、第1の電極104は、塩基を生産するように構成されている。

## 【0118】

塩基は、種々の好適な濃度のいずれかを有し得る。いくつかの実施形態において、塩基は、0.000001M以上、0.00001M以上、0.0001M以上、0.001M以上、0.01M以上、0.1M以上、0.5M以上、1M以上、3M以上、5M以上、7M以上、10M以上、15M以上、または20M以上の濃度を有する。ある実施形態において、塩基は、25M以下、20M以下、15M以下、10M以下、7M以下、5M以下、または3M以下の濃度を有する。これらの範囲の組み合わせも、可能である（例え

10

20

30

40

50

ば、0.1 M以上であり、かつ2.5 M以下、または0.1 M以上であり、かつ1.0 M以下)。

【0119】

いくつかの実施形態によると、第1の電極による塩基の生産は、アルカリ領域（例えば、本明細書に説明される任意のアルカリ領域）を第1の電極の近傍（例えば、第1の電極に最も近い反応器コンパートメントの半分以上）にもたらし。例えば、いくつかの事例では、第1の電極に隣接する流体（例えば、アルカリ領域）は、第1の電極からより離れた流体より高いpHを有する。例として、図2Aを参照すると、ある場合、システムは、アルカリ領域106を第1の電極104の近くに備えている。同様に、図1Aを参照すると、ある事例では、システムは、アルカリ領域を第1の電極104の近くに備えている。

10

【0120】

いくつかの実施形態において、第1の電極の近くの（例えば、それに隣接する）pHは、7を上回る、8以上、9以上、10以上、11以上、12以上、13以上、または14以上である。いくつかの実施形態によると、第1の電極の近くのpHは、1.9以下、1.6以下、1.4以下、1.3以下、1.2以下、1.1以下、または1.0以下である。これらの範囲の組み合わせも、可能である（例えば、7を上回り、かつ1.9以下、9以上であり、かつ1.6以下、8以上であり、かつ1.4以下）。

【0121】

いくつかの実施形態において、第2の電極は、酸性出力（例えば、本明細書に説明される酸のいずれか）を生産するように構成されている。ある実施形態において、酸性出力は、第2の電極における電気化学反応の結果として生産される。例えば、図1Aを参照すると、いくつかの実施形態において、第2の電極105は、酸を生産するように構成されている。同様に、図2Aを参照すると、ある場合、第2の電極105は、酸を生産するように構成されている。いくつかの実施形態において、反応器の第1のモードは、酸を第2の電極の近くで生産することを含む（例えば、酸は、第2の電極における電気化学反応の結果として生産される）。例えば、図1Aを参照すると、いくつかの実施形態において、第1のモードは、酸を第2の電極105の近くで生産することを備えている。同様に、図2Aを参照すると、ある実施形態において、第1のモードは、酸を第2の電極105の近くで生産することを含む。

20

【0122】

酸は、種々の好適な濃度のいずれかを有し得る。いくつかの実施形態において、酸は、0.000001 M以上、0.00001 M以上、0.0001 M以上、0.001 M以上、0.01 M以上、0.1 M以上、0.5 M以上、1 M以上、3 M以上、5 M以上、7 M以上、または10 M以上の濃度を有する。ある実施形態において、酸は、1.2 M以下、1.0 M以下、7 M以下、5 M以下、3 M以下、または1 M以下の濃度を有する。これらの範囲の組み合わせも、可能である（例えば、0.000001 M以上であり、かつ1.2 M以下、または0.1 M以上であり、かつ1.0 M以下）。

30

【0123】

いくつかの実施形態によると、第2の電極による酸の生産は、酸性領域（例えば、本明細書に説明される任意の酸性領域）を第2の電極の近傍（例えば、第2の電極に最も近い反応器コンパートメントの半分以上）にもたらし。例えば、いくつかの事例では、第2の電極に隣接する流体（例えば、酸性領域）は、第2の電極からより離れた流体より低いpHを有する。例として、図2Aを参照すると、ある場合、システムは、酸性領域107を第2の電極105の近くに備えている。同様に、図1Aを参照すると、ある事例では、システムは、酸性領域を第2の電極105の近くに備えている。

40

【0124】

ある実施形態によると、第2の電極の近くの（例えば、それに隣接する）pHは、7未満、6以下、5以下、4以下、3以下、2以下、1以下、または0以下のpHを有する。いくつかの実施形態において、第2の電極の近くのpHは、-5以上、-2以上、0以上、1以上、2以上、3以上、4以上、または5以上のpHを有する。これらの範囲の組み

50

合わせも、可能である（例えば、－５以上であり、かつ７未満である、－２以上であり、かつ１以下、０以上であり、かつ６以下）。

【０１２５】

ある実施形態において、第１の電極（例えば、カソード）は、水素ガスが第１の電極の近傍に生産され得るように、水素ガスを生産するように構成される（例えば、水素ガスは、第１の電極における電気化学反応の結果として生産される）。例えば、図２Ａを参照すると、いくつかの実施形態において、第１の電極１０４は、水素ガス１０８を生産するように構成されている。同様に、図１Ａを参照すると、ある事例では、第１の電極１０４は、水素ガスを生産するように構成されている。いくつかの事例では、第１のモードにおいて、反応器を稼働させることは、水素ガス（例えば、水素ガスおよび塩基）を第１の電極の近くで生産すること（例えば、水素ガスは、第１の電極における電気化学反応の結果として生産される）を含む。いくつかの事例では、水素ガスおよび／または塩基は、第１の電極の近傍における水の還元によって、第１の電極の近くで生産される。

10

【０１２６】

ある実施形態において、第２の電極（例えば、アノード）は、酸素ガスが第２の電極の近くで生産され得るように、酸素を生産するように構成される（例えば、酸素ガスは、第２の電極における電気化学反応の結果として生産される）。例えば、図２Ａを参照すると、いくつかの実施形態において、第２の電極１０５は、酸素ガス１０９を生産するように構成されている。同様に、図１Ａを参照すると、ある実施形態において、第２の電極１０５は、酸素ガスを生産するように構成されている。ある場合、第１のモードにおいて、反応器を稼働させることは、酸素ガス（例えば、酸素ガスおよび酸）を第２の電極の近くで生産すること（例えば、酸素ガスは、第２の電極における電気化学反応の結果として生産される）を含む。いくつかの事例では、酸素ガスおよび／または酸は、第２の電極の近傍における水の酸化によって、第２の電極の近くで生産される。

20

【０１２７】

いくつかの実施形態において、システムは、酸素ガスが、第１の電極の近くの場所に拡散および／または移送される（例えば、第２の電極の近くの場所から）ことを可能にするように構成されている。例えば、ある場合、システムは、酸素ガスが第２の電極における電気化学反応の結果として生産された後、酸素ガスが第１の電極における電気化学反応に関わり得るように、第２の電極の近くの流体から、酸素ガスが第１の電極の近くの流体に拡散および／または移送されることを可能にするように構成されている。例えば、図２Ａを参照すると、いくつかの実施形態において、システム２００は、酸素ガス１０９が、第２の電極１０５から第１の電極１０４に拡散および／または移送されることを可能にするように構成されている。同様に、図１Ａを参照すると、ある実施形態において、システム１００は、酸素ガスが、第２の電極１０５から第１の電極１０４に拡散および／または移送されることを可能にするように構成されている。

30

【０１２８】

ある実施形態によると、システムは、酸素ガスが、第１の電極の近くで還元されることを可能にするように構成される（例えば、酸素ガスは、第１の電極における電気化学反応の結果として還元される）。例えば、図２Ａを参照すると、ある実施形態において、システム２００は、酸素ガス１０９が、第１の電極１０４の近くで還元されることを可能にするように構成されている。同様に、図１Ａを参照すると、いくつかの事例では、システム１００は、酸素ガスが、第１の電極１０４の近くで還元されることを可能にするように構成されている。いくつかの実施形態において、酸素ガスを第１の電極の近くで還元させることは、塩基の生産を含む。ある実施形態において、塩基の生産は、それが第１の電極において生産される塩基の全体的量を増加させるので、有利である。

40

【０１２９】

いくつかの実施形態において、システムは、水素ガスが、第２の電極の近くの場所に拡散および／または移送される（例えば、第１の電極の近くの場所から）ことを可能にするように構成されている。例えば、ある場合、システムは、水素ガスが第１の電極における

50

電気化学反応の結果として生産された後、水素ガスが第２の電極における電気化学反応に関わり得るように、第１の電極の近くの流体から、水素ガスが第２の電極の近くの流体に拡散および／または移送されることを可能にするように構成されている。例えば、図２Ａを参照すると、ある場合、システム２００は、水素ガス１０８が、第１の電極１０４から第２の電極１０５に拡散および／または移送されることを可能にするように構成されている。同様に、図１Ａを参照すると、いくつかの事例では、システム１００は、水素ガスが、第１の電極１０４から第２の電極１０５に拡散および／または移送されることを可能にするように構成されている。

#### 【０１３０】

ある実施形態によると、システムは、水素ガスが、第２の電極の近くで酸化されることを可能にするように構成される（例えば、水素ガスは、第２の電極における電気化学反応の結果として酸化される）。例えば、図２Ａを参照すると、いくつかの実施形態において、システム２００は、水素ガス１０８が、第２の電極の近傍１０５で酸化されることを可能にするように構成されている。同様に、図１Ａを参照すると、ある実施形態において、システム１００は、水素ガスが、第２の電極の近くで酸化されることを可能にするように構成されている。いくつかの実施形態において、水素ガスを第２の電極の近くで酸化することは、酸の生産を含む。ある実施形態において、酸の生産は、第２の電極において生産される酸の全体的量を増加させるので、有利である。

#### 【０１３１】

いくつかの実施形態において、システムは、セパレータを備えている。例えば、図１Ｃを参照すると、いくつかの実施形態において、システム１００は、セパレータ１２４を備えている。同様に、図２Ｂを参照すると、ある実施形態において、システム２００は、セパレータ１２４を備えている。ある実施形態において、セパレータは、第２の電極において生産される酸素ガスが第１の電極に拡散することを可能にし、および／または、第１の電極において生産される水素ガスが第２の電極に拡散することを可能にするように構成されている。例えば、いくつかの実施形態において、セパレータは、酸素ガスおよび／または水素ガスに対して透過性である。例えば、図１Ｃを参照すると、いくつかの実施形態において、セパレータ１２４は、第２の電極において生産される酸素ガスが第１の電極に拡散することを可能にし、および／または、第１の電極において生産される水素ガスが第２の電極に拡散することを可能にするように構成されている。同様に、図２Ｂを参照すると、ある実施形態において、セパレータ１２４は、第１の電極において生産される酸素ガスが第１の電極に拡散することを可能にし、および／または第１の電極において生産される水素ガスが第２の電極に拡散することを可能にするように構成されている。

#### 【０１３２】

水素ガスおよび／または酸素ガスを一方の電極から他方の電極に移送するための多くの好適な方法が、存在し得る。例えば、いくつかの実施形態において、水素ガスおよび／または酸素ガスは、シリンジを用いて移送され得る（例えば、反応器が、一方の電極の近くに、シリンジのための入口と、他方の電極の近くに、シリンジのための出口とを有する場合、ガスは、シリンジを用いて、一方の電極から他方の電極に移送され得る）。ある実施形態において、水素ガスおよび／または酸素ガスは、導管（例えば、パイプ、チャネル、針、または管）を介して移送され得る。ある場合、水素ガスおよび／または酸素ガスは、直接、一方の電極から別の電極に移送され得るか、または、水素ガスおよび／または酸素ガスは、反応器から除去後、反応器の中に戻されるまで、貯蔵され得る。いくつかの実施形態において、水素ガスおよび／または酸素ガスは、持続的に、またはバッチにおいて、移送される。ある実施形態において、水素ガスおよび／または酸素ガスは、自動的に、または手動で、移送される。

#### 【０１３３】

いくつかの実施形態において、加水分解によって生産される水素ガスが、水素酸化反応（HOR）を使用して電気化学的に酸化され得、HORにおいて、１個の二水素分子が、反応し、２個の陽子と、２個の電子とを形成する。他の実施形態において、加水分解によ

って生産される酸素ガスが、酸素還元反応（O R R）において電気化学的に還元され得、1 個の二酸素分子が、2 個の水分子および 4 個の電子と反応し、4 個のヒドロキシルイオンを形成する。いくつかの実施形態において、H O R 反応は、反応器によって生産される酸性溶液の p H を低下させるために、または陽子濃度を増加させるために使用される。いくつかの実施形態において、O R R 反応は、反応器によって生産される塩基性溶液の p H を増加させるために、またはヒドロキシル濃度を増加させるために使用される。本明細書に説明されるような H O R および O R R 反応は、ある場合、反応器の電解反応のために使用されるそれらと別個の電極を使用して実施され得る。ある実施形態において、これらの電極は、例えば、燃焼電極として、電解反応器内に位置し得る（水素および酸素燃焼反応が、水を生産し、水は、反応器内に留まる）。燃焼、または H O R または O R R のために使用される電極は、いくつかの事例では、別個の容器または反応器内にも位置し得、別個の容器または反応器に、水素または酸素ガスの各々が、送達される。いくつかの実施形態において、電解反応器のカソードにおいて生産される水素は、反応器のアノード側に接続される H O R 電極に送達され、そこで、H O R が、行われ、陽子が、生産され、それによって、反応器によって生産される酸性溶液の酸濃度を増加させる（p H を降下させる）。ある実施形態において、電解反応器のアノードにおいて生産される酸素は、反応器のカソード側に接続される O R R 電極に送達され、そこで、O R R が、行われ、ヒドロキシルイオンが、生産され、それによって、反応器によって生産されるアルカリ溶液のヒドロキシル濃度を増加させる（p H を増加させる）。いくつかの事例では、H O R 反応は、O R R 反応より優先的に行われ、あまり反応性ではない酸素と比較して、外部環境への水素の排出を低減させる。水素－酸素燃焼または H O R または O R R のために使用される電極は、ある場合、電気触媒として機能する化合物を備え得る。水素－酸素燃焼触媒は、例えば、“C a t a l y t i c C o m b u s t i o n o f H y d r o g e n – I t s R o l e i n H y d r o g e n U t i l i z a t i o n ,” by M H a r u t a and H S a n o , I n t e r n a t i o n a l J o u r n a l o f H y d r o g e n E n e r g y , V o l . 6 , N o . 6 , p p . 6 0 1 – 6 0 8 , 1 9 8 1（参照することによって本明細書に組み込まれる）に説明される。H O R および O R R のための電気触媒の例は、P t、P d、R u、R h、O s、および I r 等の白金族金属、M o、F e、T i、W、C r、C o、C u、A g、A u、および R e 等の非白金族金属（個々に、または合金または混合物として使用される）、随意に、他の触媒でコーティングまたはドーブされるラネーニッケルとして知られる高表面積ニッケル－アルミニウム合金を含む。O R R のために選択される電気触媒の例は、金属鉄、酸化鉄、硫化鉄、および水酸化鉄、銀合金、酸化物、および硝酸塩、および炭素紙、炭素フェルト、黒鉛、カーボンブラック、およびナノスケール炭素を含む種々の形態の炭素を含む。

10

20

30

40

50

#### 【0134】

ある実施形態では本明細書に説明される電解によって生産されるガス状副産物（例えば、C O<sub>2</sub>、H<sub>2</sub>、および／または O<sub>2</sub>）は、電気を含むエネルギーおよび電力を生産する目的のために、燃料電池またはガスタービンまたは内燃エンジン内での燃焼を含む価値を有し得、他の用途およびプロセスにおいて使用するために販売され得る。しかしながら、いくつかの事例では、そのようなガスの生産を低減または排除することが望ましくあり得る。故に、いくつかの実施形態において、反応器によって生産されるガスのうちの 1 つ以上は、再結合される。本明細書で使用されるように、再結合は、生産されるガスのうちの 1 つ以上を消費する、化学または電気化学反応を指す。

#### 【0135】

いくつかの実施形態において、加水分解によって生産される水素および酸素は、水素－酸素燃焼を使用して再結合され、水を形成する。例えば、図 2 A を参照すると、いくつかの実施形態において、第 1 の電極 104 によって生産される水素ガス 108 は、図 6 A に示されるように、酸素ガス 109 と再結合され、水を形成することができる。同様に、図 1 A を参照すると、ある実施形態において、第 1 の電極 104 によって生産される水素ガスは、酸素ガスと再結合され、水を形成することができる。ある実施形態によると、水素

ー酸素再結合は、反応器内またはその外部で生じ得、ある場合、当業者に周知の電極材料および設計、随意に、触媒を使用し得る。ある実施形態において、方法は、正味水素ガスを生産しない（または生産される水素ガスの正味量は、反応器に供給される電流の5%未満（例えば、2%未満または1%未満）である）。例えば、いくつかの実施形態において、方法は、任意の水素ガスを大気に排出しない（または排出される水素ガスの量は、生産される水素ガスが、酸素と再結合され、水を形成するので、反応器に供給される電流の5%未満（例えば、2%未満または1%未満）である）。同様に、ある場合、方法は、正味酸素ガスを生産しない（または生産される酸素ガスの正味量は、反応器に供給される電流の5%未満（例えば、2%未満または1%未満）である）。例えば、ある事例では、方法は、生産される酸素ガスが、水素と再結合され、水を形成するので、任意の酸素ガスを大

10

【0136】

いくつかの実施形態において、加水分解は、塩基性pHを第1の電極の近傍（例えば、カソード）で、および酸性pHを第2の電極の近傍（例えば、アノード）で生産する条件下、それぞれ、水素ガスまたは酸素ガスを放出せずに（または放出される水素ガスまたは酸素ガスの量は、反応器に供給される電流の5%未満（例えば、2%未満または1%未満）である）、実施される。例えば、いくつかの実施形態において、 $O_2$ が、酸および $O_2$ が生産される第2の電極（例えば、アノード）から、塩基が生産される第1の電極（例えば、カソード）に拡散し得（例えば、図2Aの電解質235を通して、および／または電解質の上方に空気を通して）、 $O_2$ が、還元され、 $OH^-$ （ $1/2 O_2 + H_2O + 2e^- \rightarrow 2OH^-$ ）を形成するであろう。ある実施形態において、この反応は、pH>7および標準的水素電極に対して0.8V未満の電極電位において生じるであろう。同様に、ある場合、 $H_2$ が、塩基が生産される第1の電極（例えば、カソード）から、酸が生産される第2の電極（例えば、アノード）に拡散し得、 $H_2$ が、酸化され、 $H^+$ （ $H_2 \rightarrow 2H^+ + 2e^-$ ）を形成するであろう。ある事例では、これは、pH<7であるとき、かつ電極電位が標準的水素電極に対して-0.41Vより大きいとき、生じるであろう。アルカリ電解槽等の他の電解槽では、この反応は、2つの電極間のガスの交差を防止するセパレータによって妨害される。しかしながら、本明細書に開示されるいくつかの実施形態において、反応器は、 $H_2$ および／または $O_2$ が、消費され、pH勾配を増加させ得るように、それらの交差を可能におよび／または促進するセパレータを備えている。

20

30

【0137】

いくつかの実施形態において、酸性溶液（pH7未満）が、標準的水素電極に対して0.8Vを上回る電極電位において、中性pH電解質から発生させられる。例えば、ある実施形態において、pH0の酸性溶液を作製するために、最小電極電位は、標準的水素電極に対して、1.23Vであろう。ある場合、塩基性溶液（pH7を上回る）が、標準的水素電極に対して-0.4V未満の電極電位において、中性pH電解質から発生させられる。例えば、pH14のアルカリ溶液を作製するために、最大電極電位は、標準的水素電極に対して、-0.83Vであろう。

【0138】

第2の電極におけるネルンスト電位（例えば、第2の電極に最も近い流体中のネルンスト電位）は、種々の好適な値のいずれかであり得る。いくつかの実施形態において、第2の電極（例えば、アノード）におけるネルンスト電位は、標準的水素電極に対して、-0.4V以上、-0.2V以上、0V以上、0.5V以上、0.8V以上、0.9V以上、1V以上、1.1V以上、1.2V以上、1.4V以上、または1.6V以上である。ある実施形態において、第2の電極におけるネルンスト電位は、標準的水素電極に対して、2V以下、1.7V以下、1.5V以下、1.4V以下、1.3V以下、1.2V以下、1.1V以下、1V以下、0.9V以下、0.8V以下、0.5V以下、0V以下、または-0.2V以下である。これらの範囲の組み合わせも、可能である（例えば、0.8V以上であり、かつ2V以下、1.2V以上であり、かつ2V以下、-0.4V以上であり

40

50

、かつ 0.5 V 以下、または 0 V 以上であり、かつ 0.5 V 以下）。

【0139】

ある実施形態において、第2の電極における好適なネルンスト電位は、電極における反応のタイプに依存する。例えば、ある場合、第2の電極におけるネルンスト電位は、水素ガスが酸に酸化されるとき、標準的水素電極に対して、-0.4 V 以上である（例えば、-0.4 V 以上であり、かつ 0.5 V 以下、または 0 V 以上であり、かつ 0.5 V 以下）。別の例として、ある事例では、第2の電極におけるネルンスト電位は、水が酸および酸素ガスに酸化されるとき、標準的水素電極に対して、0.8 V 以上である（例えば、0.8 V 以上であり、かつ 2 V 以下、または 1.2 V 以上であり、かつ 2 V 以下）。

【0140】

第1の電極におけるネルンスト電位（例えば、第1の電極に最も近い流体中のネルンスト電位）は、種々の好適な値のいずれかであり得る。ある実施形態において、第1の電極（例えば、カソード）におけるネルンスト電位は、標準的水素電極に対して、0.8 V 以下、0.6 V 以下、0.4 V 以下、0 V 以下、-0.4 V 以下、-0.5 V 以下、-0.6 V 以下、-0.7 V 以下、-0.8 V 以下、-0.9 V 以下、-1 V 以下、-1.2 V 以下、または -1.4 V 以下である。いくつかの実施形態において、第1の電極におけるネルンスト電位は、標準的水素電極に対して、-2 V 以上、-1.7 V 以上、-1.5 V 以上、-1.2 V 以上、-1 V 以上、-0.9 V 以上、-0.8 V 以上、-0.7 V 以上、-0.6 V 以上、-0.5 V 以上、-0.4 V 以上、0 V 以上、0.4 V 以上、または 0.6 V 以上である。これらの範囲の組み合わせも、可能である（例えば、-1.5 V 以上であり、かつ -0.4 V 以下、-1.5 V 以上であり、かつ -0.8 V 以下、-0.4 V 以上であり、かつ 0.8 V 以下、または -0.4 V 以上であり、かつ 0.4 V 以下）。

【0141】

ある実施形態において、好適な第1の電極におけるネルンスト電位は、電極における反応のタイプに依存する。例えば、ある場合、第1の電極におけるネルンスト電位は、酸素ガスが塩基に還元されるとき、標準的水素電極に対して、0.8 V 以下である（例えば、0.8 V 以下であり、かつ -0.4 V 以上、または 0.4 V 以下であり、かつ -0.4 V 以上）。別の例として、ある事例では、第1の電極におけるネルンスト電位は、水が塩基および水素ガスに還元されるとき、標準的水素電極に対して、-0.4 V 以下である（例えば、-0.4 V 以下であり、かつ -1.5 V 以上、または -0.8 V 以下であり、かつ -1.5 V 以上）。

【0142】

ある実施形態において、槽電圧（例えば、例えば、酸および／または塩基の生産中、槽に印加される電圧）は、標準的水素電極に対して、0 V 以上、0.5 V 以上、1 V 以上、1.23 V 以上、1.5 V 以上、2 V 以上、2.06 V 以上、または 2.5 V 以上である。いくつかの実施形態において、槽電圧は、標準的水素電極に対して、5 V 以下、4 V 以下、3 V 以下、2.5 V 以下、2.25 V 以下、2 V 以下、1.5 V 以下、1 V 以下、または 0.5 V 以下である。これらの範囲の組み合わせも、可能である（例えば、0～5 V または 0～2.5 V）。

【0143】

いくつかの実施形態において、システムは、濃縮された酸および塩基を生産するための反応器システムを備えている。いくつかの実施形態によると、システムは、第1の反応器（例えば、本明細書に説明される任意の反応器）を備えている。例えば、図3Aを参照すると、いくつかの実施形態において、システム300は、第1の反応器320を備えている。いくつかの実施形態によると、システムは、第2の反応器（例えば、本明細書に説明される任意の反応器）を備えている。例えば、図3Aを参照すると、いくつかの実施形態において、システム300は、第2の反応器301を備えている。ある場合、第1の反応器と第2の反応器とは、流体的に接続される。例えば、図3Aを参照すると、いくつかの実施形態による第1の反応器320は、導管330を介して、第2の反応器301に流体的に接続される。例えば、ある場合、第1の反応器内で生産される流体（例えば、液体ま

10

20

30

40

50

たはガス)は、第2の反応器に拡散および／または移送されることができる。非限定的例として、ある実施形態において、方法は、水素ガスおよび／またはジハロゲン化物を第1の反応器から第2の反応器に拡散および／または移送することを含む。

【0144】

いくつかの実施形態において、第1の反応器は、電気化学反応器を備えている。ある場合、第1の反応器は、第1の電極(例えば、本明細書に説明される任意の第1の電極)を備えている。例えば、図3Bを参照すると、ある場合、第1の反応器320は、第1の電極104を備えている。いくつかの事例では、第1の反応器は、第2の電極(例えば、本明細書に説明される任意の第2の電極)を備えている。例えば、図3Bを参照すると、ある場合、第1の反応器320は、第2の電極105を備えている。いくつかの実施形態において、第2の電極は、第1の電極に電気化学的に結合される(例えば、電極は、電流が一方の電極から他方の電極に流動し得るように構成される)。すなわち、電極は、それらが電気化学プロセスに関わることが可能であるように構成されることができる。電気化学結合は、例えば、第1および第2の電極を2つの電極間のイオン輸送を促進する電解質にさらすことによって、達成されることができる。例えば、図3Aを参照すると、いくつかの実施形態において、第1の電極104は、第2の電極105に電気化学的に結合される。

10

【0145】

ある事例では、第2の反応器は、燃料電池(例えば、 $H_2/C l_2$ 燃料電池)を備えている。いくつかの実施形態において、方法は、酸を第2の反応器内で生産することを含む。例えば、ある場合、図3Aにおける第2の反応器301は、酸(例えば、本明細書に説明される任意の酸)を生産するように構成されている。

20

【0146】

ある実施形態において、方法は、塩基(例えば、本明細書に説明される任意の塩基)、ジハロゲン化物、および／または水素ガスを第1の反応器内で生産することを含む。例えば、図3Aを参照すると、ある場合、第1の反応器320は、塩基、ジハロゲン化物、および／または水素ガスを生産するように構成されている。いくつかの事例では、ジハロゲン化物は、第1の反応器の第2の電極の近くで生産される(例えば、ジハロゲン化物は、第1の反応器の第2の電極における電気化学反応の結果として生産される)。例えば、図3Bを参照すると、ある場合、ジハロゲン化物は、第1の反応器320の第2の電極105の近くで生産される。いくつかの実施形態において、塩基および／または水素ガスは、第1の電極の近くで生産される(例えば、塩基および／または水素ガスは、第1の電極における電気化学反応の結果として生産される)。例えば、図3Bを参照すると、ある場合、塩基は、第1の電極104の近くで生産される。

30

【0147】

第1の反応器の第2の電極におけるネルンスト電位(例えば、第2の電極に最も近い流体中のネルンスト電位)は、種々の好適な値のいずれかであり得る。いくつかの実施形態において、第1の反応器の第2の電極(例えば、アノード)におけるネルンスト電位は、標準的水素電極に対して、1.3V以上、1.5V以上、1.7V以上、1.9V以上、2.1V以上、または2.3V以上である。ある実施形態において、第1の反応器の第2の電極におけるネルンスト電位は、標準的水素電極に対して、2.5V以下、2.3V以下、2.1V以下、1.9V以下、1.7V以下、または1.5V以下である。これらの範囲の組み合わせも、可能である(例えば、1.3V以上であり、かつ2.5V以下)。

40

【0148】

ある実施形態において、第1の反応器の第2の電極における好適なネルンスト電位は、電極における反応のタイプに依存する。例えば、ある場合、第2の電極におけるネルンスト電位は、ジハロゲン化物が生産される(例えば、塩化物イオンが $C l_2$ を形成するために酸化されている)とき、標準的水素電極に対して、1.3V以上である(例えば、1.3V以上であり、かつ2.5V以下)。

【0149】

50

いくつかの実施形態において、 $\text{Cl}_2$ は、標準的水素電極に対して、1.36 Vを上回る（例えば、標準的水素電極に対して、1.4 V以上、1.5 V以上、1.7 V以上、または2 V以上、5 V以下、3 V以下、2 V以下、または1.5 V以下、組み合わせも可能）ネルンスト電位において、 $\text{Cl}^-$ から発生させられる。

【0150】

ある実施形態において、 $\text{Br}_2$ は、標準的水素電極に対して、1.06 Vを上回る（例えば、1.1 V以上、1.2 V以上、1.3 V以上、1.5 V以上、または1.8 V以上、4 V以下、3 V以下、2 V以下、または1.5 V以下、組み合わせも可能）ネルンスト電位において、 $\text{Br}^-$ から発生させられる。

【0151】

ある場合、 $\text{I}_2$ は、標準的水素電極に対して、0.54 Vを上回る（例えば、0.6 V以上、0.7 V以上、0.8 V以上、0.9 V以上、1 V以上、または1.2 V以上、3 V以下、2 V以下、1.5 V以下、1.3 V以下、または1 V以下、組み合わせも可能）ネルンスト電位において、 $\text{I}^-$ から発生させられる。

【0152】

第1の反応器の第1の電極におけるネルンスト電位（例えば、第1の電極に最も近い流体中のネルンスト電位）は、種々の好適な値のいずれかであり得る。いくつかの実施形態において、第1の反応器の第1の電極（例えば、カソード）におけるネルンスト電位は、標準的水素電極に対して、-2 V以上、-1.8 V以上、-1.6 V以上、-1.4 V以上、-1.2 V以上、-1.0 V以上、-0.8 V以上、-0.6 V以上、-0.4 V以上、-0.2 V以上、0 V以上、0.2 V以上、0.4 V以上、または0.6 V以上である。ある実施形態において、第1の反応器の第1の電極におけるネルンスト電位は、標準的水素電極に対して、0.8 V以下、0.6 V以下、0.4 V以下、0.2 V以下、0 V以下、-0.2 V以下、-0.4 V以下、-0.6 V以下、-0.8 V以下、-1.0 V以下、-1.2 V以下、-1.4 V以下、または-1.6 V以下である。これらの範囲の組み合わせも、可能である（例えば、-2 V以上であり、かつ0.8 V以下、-1.4 V以上であり、かつ0.4 V以下、-2 V以上であり、かつ-0.4 V以下、または-2 V以上であり、かつ-0.8 V以下）。

【0153】

ある実施形態において、第1の反応器の第1の電極における好適なネルンスト電位は、電極における反応のタイプに依存する。例えば、ある場合、第1の電極におけるネルンスト電位は、酸素が、還元され、塩基を形成するとき、標準的水素電極に対して、0.8 V以下である（例えば、-2 V以上であり、かつ0.8 V以下、または-1.4 V以上であり、かつ0.4 V以下）。別の例として、ある事例では、第1の電極におけるネルンスト電位は、水が水素ガスおよび塩基に還元されるとき、標準的水素電極に対して、-0.4 V以下である（例えば、-2 V以上であり、かつ-0.4 V以下、または-2 V以上であり、かつ-0.8 V以下）。

【0154】

ある実施形態において、第1の反応器は、塩基／アルカリ溶液、ジハロゲン化物、および水素ガスをハロゲン化物塩を含む電解質から生産する。図11は、ある実施形態による本明細書に開示されるような中性水電解槽ベースの反応器を示し、それによって、電解または加水分解が、酸性溶液およびアルカリ溶液を生産し、酸性溶液は、次いで、開始金属炭酸塩から脱炭素化するために使用され、アルカリ溶液は、次いで、金属水酸化物を開始金属炭酸塩の溶解させられた金属イオンから沈殿させるために使用される。いくつかの実施形態において、そのような反応器が作用する反応物の体積濃度が、電解槽によって生産されるpH値によって決定される。

【0155】

ある実施形態によると、代替反応器概念が、図12に示される。いくつかの実施形態によると、この反応器は、図11における反応器より高い濃度の酸および塩基を生産することが可能である。いくつかの実施形態において、システムは、溶解させられた金属塩のほ

10

20

30

40

50

ば中性溶液を電解酸化させ、金属塩のアニオン中に濃縮されるアルカリ溶液、水素、および化合物を生産する、第1の反応器を備えている。いくつかの実施形態において、金属塩は、ハロゲン化アルカリ塩またはアルカリ土類ハロゲン化物塩であり、生産される該化合物は、ジハロゲン化物である。第2の反応器は、ある実施形態によると、該化合物および水素を水と反応させることによって、酸性溶液を生産する。第2の反応器によって生産される該酸性溶液と第1の反応器によって生産される該アルカリ溶液とは、次いで、いくつかの実施形態において、それぞれ、該金属炭酸塩を溶解させ、 $\text{CO}_2$ を排出すること、および該金属水酸化物を沈殿させることを行うために使用される。約1モルを上回る絶対 $\text{H}^+$ および $\text{OH}^-$ 濃度に到達することが困難であり得る図11の反応器と異なり、図12の反応器は、ある実施形態において、3モル、5モル、またはさらにより高い濃度に到達することができる。

10

#### 【0156】

ある実施形態において、第1の反応器は、第2の電極（例えば、アノード）と、第1の電極（例えば、カソード）と、2つの電極間の半透過性膜と、電解質のための入口と、電解生成物（ $\text{H}_2$ 、ジハロゲン化物、およびアルカリ溶液）のための出口とを備えている。いくつかの実施形態において、第1の電極の近傍における追加の入口は、 $\text{O}_2$ を導入する。ある場合、電解質は、ほぼ中性水溶液であって、その中に金属塩が、溶解させられる。ある場合、水溶液は、ハロゲン化物アニオン（例えば、 $\text{F}^-$ 、 $\text{Cl}^-$ 、 $\text{Br}^-$ 、 $\text{I}^-$ ）と、対応するカチオン（例えば、 $\text{Li}^+$ 、 $\text{Na}^+$ 、 $\text{K}^+$ 、 $\text{NH}_4^+$ 、 $\text{Mg}^{2+}$ 、 $\text{Ca}^{2+}$ ）とを備えている。ある実施形態において、電解質中のハロゲン化物塩の濃度は、0.01～50%重量比の任意の値であり得る。いくつかの実施形態において、電解質は、入口によって、第2の電極（例えば、アノード）に導入される。ある場合、第2の電極の表面上の活性材料は、白金、黒鉛、白金めっきチタン、混合された金属酸化物、混合された金属酸化物被覆チタン、白金めっき金属酸化物（例えば、白金めっき鉛酸化物、二酸化マンガ）、白金めっきフェロシリコン、白金-イリジウム合金、酸化ルテニウム、酸化チタン、ルテニウムおよび／またはチタン混合された金属酸化物を備え得る。

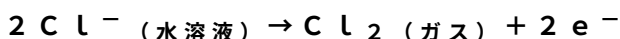
20

#### 【0157】

ある場合、反応器1内の第2の電極において、ハロゲン化物アニオンが、酸化され、ジハロゲン化物（例えば、 $\text{Cl}_2$ 、 $\text{Br}_2$ 、 $\text{I}_2$ ）を生産する。例えば、ある事例では、溶解させられた $\text{Cl}^-$ の酸化は、 $\text{Cl}_2$ ガスを与える。

30

#### 【0158】



#### 【0159】

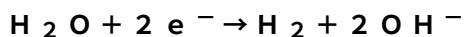
ある実施形態において、室温において、 $\text{Br}^-$ の酸化は、 $\text{Br}_2$ （発煙液体）を与え、 $\text{I}^-$ の酸化は、 $\text{I}_2$ （固体）を与える。ジハロゲン化物は、電解槽から、ある場合、出口を通して収集され、下記に説明される後続ステップにおいて、酸を作製するために使用される。ある事例では、カチオンを含む電解質（例えば、 $\text{Li}^+$ 、 $\text{Na}^+$ 、 $\text{K}^+$ 、 $\text{NH}_4^+$ ）は、半透過性膜（ダイヤフラムまたはイオン交換膜）を通して、第1の電極（例えば、カソード）に向かって移動する。ある場合、ダイヤフラムまたは膜は、第1の電極において発生させられるアルカリ溶液が第2の電極におけるpHを増加させることを防止する。ある実施形態において、第1の電極の表面は、電気触媒化合物を備え得る。電気触媒化合物の例は、白金、白金めっきチタン、混合された金属酸化物被覆チタン、白金めっき金属酸化物（例えば、白金めっき鉛酸化物、二酸化マンガ）、白金めっきフェロシリコン、白金-イリジウム合金、ステンレス鋼、黒鉛、非合金化チタン、ステンレス鋼、ニッケル、酸化ニッケルを含む。ある実施形態において、第2の電極は、白金、金、ニッケル、イリジウム、銅、鉄、鋼鉄、ステンレス鋼、マンガ、および亜鉛、または黒鉛または不規則炭素等の炭素、または炭化ケイ素、炭化チタン、または炭化タングステン等の金属炭化物等の金属電極を備えている。ある実施形態において、第2の電極は、金属合金（例えば、ニッケル-クロム-鉄合金、ニッケル-モリブデン-カドミウム合金）、金属酸化物（例えば、酸化イリジウム、コバルト酸ニッケル鉄、コバルト酸ニッケル、コバルト酸リチ

40

50

ウム、コバルト酸ランタンストロンチウム、バリウムストロンチウム第一酸化鉄、酸化マンガンモリブデン、二酸化ルテニウム、イリジウムルテニウム酸化タンタル)、金属有機フレームワーク、または金属硫化物(例えば、硫化モリブデン)を備えている。ある実施形態において、電気触媒または電極材料は、伝導性支持体上に分散またはコーティングされる。いくつかの実施形態において、図13Aに示されるように、反応器1の第1の電極(例えば、カソード)において、水が、還元され、 $\text{OH}^-$ (アルカリ溶液)および $\text{H}_2$ (ガス)を与える。

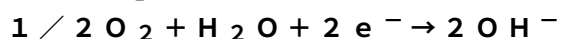
【0160】



【0161】

別の実施形態において、反応器1の第1の電極(例えば、カソード)において、 $\text{O}_2$ が、還元され、 $\text{OH}^-$ (アルカリ溶液)を与える。図13A参照。

【0162】

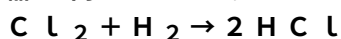


【0163】

いくつかの実施形態において、 $\text{OH}^-$ は、例えば、図13A-13Bに示されるように、ダイヤフラムまたは膜を交差する電解質中のカチオンによって電荷平衡される。ある場合、7を上回るpHを伴い、かつ0.01mol/Lまたはそれを上回るアルカリの濃度を伴う水酸化アルカリ溶液(例えば、 $\text{NaOH}$ 、 $\text{KOH}$ )が、反応器の出口から収集される。ある事例では、 $\text{H}_2$ は、反応器の異なる出口から収集される。ある場合、反応器1は、一方の電極において、アルカリ溶液を生産し、他方の電極において、水素およびジハロゲン化物(金属塩が金属ハロゲン化物である、事例では)を生産する。

【0164】

いくつかの実施形態によると、図12では、反応器2は、反応器1のアノードにおいて生産される水素ガスとジハロゲン化物とを反応させることによって、またはジハロゲン化物を水と反応させることによって、酸を生産する反応器である。以下の例によって限定されるわけではないが、この反応器の2つの実施形態が、図14A-14Bに示される。ある実施形態によると、図14Aでは、反応器は、第1のチャンバと、 $\text{H}_2$ が第1のチャンバに導入される入口と、ジハロゲン化物が第1のチャンバに導入される第2の入口と、水素ハロゲン化物(例えば、 $\text{HCl}$ 、 $\text{HBr}$ 、 $\text{HI}$ )が第1のチャンバから除去される出口と、水素ハロゲン化物が第2のチャンバに導入される入口と、水が第2のチャンバに導入される入口と、水素ハロゲン化物の水性の酸性溶液が第2のチャンバから除去される出口とを備えている。いくつかの実施形態において、第1のチャンバでは、ジハロゲン化物が、 $\text{H}_2$ と反応し、水素ハロゲン化物を形成する。ある実施形態において、 $\text{H}_2$ とジハロゲン化物との間の反応は、加熱または電磁波による照射によって支援され得る。例えば、いくつかの実施形態において、ジハロゲン化物が、 $\text{Cl}_2$ である場合、以下の反応が、反応器2内で生じる。



【0165】

ある場合、第2のチャンバにおいて、水素ハロゲン化物が、水中に溶解させられ、酸性溶液を作製する。例えば、 $\text{HCl}$ が、水中に溶解させられ、陽子を作製し得る。

【0166】

ある実施形態によると、図14Bでは、ジハロゲン化物が、水と反応させられ、所望の酸と、副産物としての酸素とを生産する。ある場合、例示的反應器は、第1のチャンバと、 $\text{H}_2\text{O}$ が第1のチャンバに導入される入口と、ジハロゲン化物が第1のチャンバに導入される第2の入口とを備えている。ある事例では、反應器は、水素ハロゲン化物(例えば、 $\text{HCl}$ 、 $\text{HBr}$ 、 $\text{HI}$ )が第1のチャンバから除去される出口と、 $\text{O}_2$ が第1のチャンバから除去される出口とも備えている。ある場合、例示的ジハロゲン化物としての塩素と水との間の反応は、以下である。

【0167】

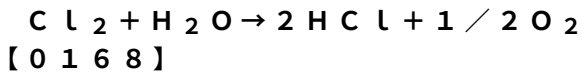
10

20

30

40

50



いくつかの実施形態において、ジハロゲン化物と水との相対量は、純水素ハロゲン化物生産されるか、水素ハロゲン化物と水との混合物（例えば、水中の水素ハロゲン化物の溶液を含む）が生産されるかを決定するであろう。随意に、ある実施形態において、反応器は、図14Bに示されるように、水素ハロゲン化物が水中に溶解させられ、酸性溶液を製作する第2のチャンバを備え得、第2のチャンバは、水素ハロゲン化物が導入される入口と、水が第2のチャンバに導入される入口と、水素ハロゲン化物の水性の酸性溶液が反応器から除去される出口とを伴う。

【0169】

いくつかの実施形態において、システムは、装置を備えている。例えば、図1Aを参照すると、いくつかの実施形態において、システムは、第1の装置118を備えている。同様に、図2Cを参照すると、ある場合、システムは、第1の装置118を備えている。同様に、図3Aを参照すると、いくつかの事例では、システムは、第1の装置118を備えている。ある事例では、装置は、コンテナ（例えば、大気開放されていないコンテナ）である。いくつかの事例では、装置は、容器（例えば、大気開放されていない容器）である。ある実施形態によると、装置は、反応器の1つ以上の生成物または副産物（例えば、酸、塩基、水素ガス、酸素ガス、および／または二酸化炭素ガス等）を収集するように、1つ以上の物質（例えば、不純石灰石、ドロマイト、石灰窯塵埃、セメント窯塵埃、灰、廃棄物流、第1の物質のある成分、酸化カルシウム、水酸化カルシウム、水酸化マグネシウム、および／または酸化マグネシウム等の本明細書に開示される任意の物質）および／または生成物または副産物のうちの1つ以上1つ以上のものを貯蔵するように、および／または1つ以上の物質（例えば、本明細書に開示される任意の物質）および／または1つ以上の生成物または副産物のうちの1つ以上と反応する（例えば、化学溶解および／または沈殿反応において）ように構成されている。

【0170】

ある実施形態において、システムは、複数の装置を備えている。いくつかの実施形態において、システムは、1以上、2以上、3以上、4以上、または5以上の装置を備えている。ある場合、システムは、6以下、5以下、4以下、3以下、または2以下の装置を備えている。これらの範囲の組み合わせも、可能である（例えば、1～6つの装置）。いくつかの実施形態において、システムは、第1の装置と、第2の装置とを備えている。例えば、図1Bでは、いくつかの実施形態において、システムは、第1の装置118と、第2の装置119とを備えている。同様に、図2Cを参照すると、ある実施形態において、システムは、第1の装置118と、第2の装置119とを備えている。同様に、図3Aを参照すると、ある場合、システムは、第1の装置118と、第2の装置119とを備えている。各装置は、独立して、1つ以上の機能を有し得る。本明細書に開示される任意の装置または構成装置の構成が、本明細書に開示される任意のシステムとともに使用され得る。

【0171】

ある実施形態において、装置は、反応器に流体的に接続される。例えば、いくつかの事例では、装置は、流体が流動し得る導管（例えば、パイプ、チャネル、針、または管）によって、反応器に接続される。例えば、図1Aを参照すると、いくつかの実施形態において、第1の装置118は、導管によって、反応器に流体的に接続される。同様に、図2Cを参照すると、ある実施形態において、第1の装置118は、導管によって、反応器に流体的に接続される。同様に、図3Aを参照すると、いくつかの事例では、第1の装置118は、導管によって、反応器に流体的に接続される。

【0172】

ある実施形態において、反応器（例えば、電気化学反応器）は、液体溶媒流（例えば、酸および／または塩基）を提供する。いくつかの実施形態において、装置（例えば、容器）は、物質（例えば、石灰石、ドロマイト、石灰窯塵埃、セメント窯塵埃、灰、および／または廃棄物流等の本明細書に開示される任意の物質）を液体流と接触させて設置する。

例えば、いくつかの実施形態において、酸および／または塩基は、反応器から装置（例えば、容器）（例えば、物質を含む）に流動する。

【0173】

ある場合、装置は、1つ以上の他の装置に流体的に接続される（例えば、パイプ、チャネル、針、または管等の導管によって）。例えば、図1Dを参照すると、第1の装置118は、導管によって、第3の装置120に流体的に接続される。同様に、図2Cを参照すると、いくつかの実施形態において、第1の装置118は、第3の装置に流体的に接続され得る（例えば、導管によって）。同様に、図3Aを参照すると、ある場合、第1の装置118は、第3の装置に流体的に接続され得る（例えば、導管によって）。別の例として、図1Eを参照すると、いくつかの実施形態において、第1の装置118は、第3の装置120に流体的に接続され（例えば、導管によって）、それは、第5の装置122に流体的に接続される（例えば、導管によって）一方、第2の装置119は、第4の装置121に流体的に接続され（例えば、導管によって）、それは、第6の装置123に流体的に接続される（例えば、導管によって）。

10

【0174】

ある実施形態によると、反応器は、第1の物質（例えば、石灰石、ドロマイト、石灰窯塵埃、セメント窯塵埃、灰、および／または廃棄物流等の本明細書に開示される任意の物質）を含む装置に流体的に接続される。ある実施形態において、液体溶媒流（例えば、酸および／または塩基）は、反応器から、第1の物質を含む装置に流動する。いくつかの実施形態によると、液体溶媒流（例えば、酸および／または塩基）は、本明細書のいずれかで議論されるように、反応器から、第1の物質を含む装置に流動し、第1の物質を溶解させる。

20

【0175】

いくつかの実施形態において、反応器は、第2の物質（例えば、第1の物質のある成分、酸化カルシウム、水酸化カルシウム、水酸化マグネシウム、および／または酸化マグネシウム等の本明細書に開示される任意の物質）が沈殿させられる装置に流体的に接続される。ある実施形態において、液体溶媒流（例えば、酸および／または塩基）は、反応器から、第2の物質が沈殿させられる装置に流動する。いくつかの実施形態によると、酸および／または塩基（例えば、塩基）は、本明細書のいずれかで議論されるように、反応器から、第2の物質が沈殿させられる装置に流動し、第2の物質を沈殿させる。

30

【0176】

ある実施形態において、反応器は、第3の物質（例えば、第1の物質のある成分、酸化カルシウム、水酸化カルシウム、水酸化マグネシウム、および／または酸化マグネシウム等の本明細書に開示される任意の物質）が沈殿させられる装置に流体的に接続される。ある実施形態において、液体溶媒流（例えば、酸および／または塩基）は、反応器から、第3の物質が沈殿させられる装置に流動する。いくつかの実施形態によると、酸および／または塩基（例えば、塩基）は、本明細書のいずれかで議論されるように、反応器から、第3の物質が沈殿させられる装置に流動し、第3の物質を沈殿させる。

【0177】

上で議論されるように、装置は、ある実施形態において、1つ以上の機能を果たし得る。ある実施形態において、それらの機能によって本明細書に説明される1つ以上の装置は、同じ装置である（例えば、第1の物質を含む装置、第2の物質が沈殿させられる装置、および／または第3の物質が沈殿させられる装置は、ある場合、同じ装置である）。いくつかの実施形態において、それらの機能によって本明細書に説明される1つ以上の装置は、異なる（例えば、第1の物質を含む装置、第2の物質が沈殿させられる装置、および／または第3の物質が沈殿させられる装置は、ある場合、異なる装置である）。ある実施形態によると、装置のうちの1つ以上は、1つ以上の装置から流体的に接続されていないこともある。いくつかの実施形態によると、装置のうちの1つ以上は、1つ以上の装置に流体的に接続され得る（例えば、第1の物質を含む装置、第2の物質が沈殿させられる装置、および／または第3の物質が沈殿させられる装置は、ある事例では、流体的に接続され

40

50

る)。

#### 【0178】

いくつかの実施形態によると、方法は、酸および／または塩基を収集することを含む。例えば、いくつかの実施形態において、方法は、酸および／または塩基をそれが生産された容器（例えば、反応器）から除去することを含む。酸および／または塩基を収集する好適な方法の非限定的例は、酸および／または塩基を導管（例えば、パイプ、チャンネル、針、または管）を通して、別個のコンテナの中に移動させることを含む。酸および／または塩基を収集する他の好適な例は、酸および／または塩基を直接、別個のコンテナ（例えば、流体の拡散を遮断または可能にするように移動させられ得るパネルによって、反応器に接続されるコンテナ）の中に移動させることを含む。いくつかの実施形態において、酸および／または塩基は、持続的に、またはバッチにおいて、収集される。ある実施形態において、酸および／または塩基は、自動的に、または手動で、収集される。

10

#### 【0179】

いくつかの実施形態において、装置は、酸を第2の電極（および／または第2の反応器）の近くで、および／または、塩基を第1の電極（および／または第1の反応器）の近くで収集する（例えば、酸を酸性領域から収集し、および／または塩基をアルカリ領域から収集する）ように構成されている。例えば、図1Aを参照すると、いくつかの実施形態において、システムは、第1の装置118を備え、それは、塩基を第1の電極104の近くで収集するように構成されている。同様に、図2Cを参照すると、ある実施形態において、システムは、第1の装置118を備え、それは、塩基を第1の電極104の近くで収集するように構成されている。同様に、図3Aを参照すると、システム300は、第1の装置118を備え、それは、塩基を第1の反応器320の近くで（例えば、第1の反応器320の第1の電極104の近くで）収集するように構成されている。いくつかの実施形態において、第1の装置118は、塩基を第1の電極（および／または第1の反応器）の近くで収集することに加え、またはその代わりに、酸を第2の電極（および／または第2の反応器）の近くで収集するように構成され得る。

20

#### 【0180】

ある実施形態において、第2の装置は、酸を第2の電極（および／または第2の反応器）の近くで、および／または塩基を第1の電極（および／または第1の反応器）の近くで収集するように構成されている。第1の装置が塩基を第1の電極の近くで収集するように構成されるいくつかの実施形態において、第2の装置は、酸を第2の電極の近くで収集するように構成されている。例えば、図1Bを参照すると、いくつかの実施形態において、システムは、第1の装置118と、第2の装置119とを備え、ある場合、第1の装置118は、塩基を第1の電極104の近くで収集するように構成され、第2の装置119は、酸を第2の電極105の近くで収集するように構成されている。同様に、図2Cを参照すると、ある実施形態において、システムは、第1の装置118と、第2の装置119とを備え、ある場合、第1の装置118は、塩基を第1の電極104の近くで収集するように構成され、第2の装置119は、酸を第2の電極105の近くで収集するように構成されている。同様に、図3Aでは、いくつかの事例では、システム300は、第1の装置118と、第2の装置119とを備え、ある場合、第1の装置118は、塩基を第1の反応器320（例えば、第1の電極104）の近くで収集するように構成され、第2の装置119は、酸を第2の反応器301の近くで収集するように構成されている。代替として、第1の装置が酸を第2の電極（および／または第2の反応器）の近くで収集するように構成される、実施形態において、第2の装置は、塩基を第1の電極（および／または第1の反応器）の近くで収集するように構成され得る。

30

40

#### 【0181】

ある実施形態において、酸を収集することは、ある電極によって生産される酸を酸があまり希釈および／または反応させられていない（例えば、収集される酸のpHは、反応器内で最低pHを伴う酸の1pH単位以内にある）、その電極に十分に近接する近傍から収集することを含む。同様に、いくつかの実施形態において、塩基を収集することは、ある

50

電極によって生産される塩基を塩基があまり希釈および／または反応させられていない（例えば、収集される塩基のpHは、反応器内で最高pHを伴う塩基の1pH単位以内にある）、その電極に十分に近接する近傍から収集することを含む。

#### 【0182】

いくつかの実施形態によると、方法は、酸および／または塩基を貯蔵することを含む。例えば、ある実施形態において、酸および／または塩基が、別個のコンテナ内に収集されると、方法は、少なくともある期間にわたって、酸および／または塩基を別個のコンテナ内に保つことを含む。いくつかの実施形態において、方法は、5分以上、15分以上、30分以上、1時間以上、5時間以上、12時間以上、1日以上、2日以上、3日以上、1週間以上、2週間以上、または1ヶ月以上の期間にわたって、酸および／または塩基を貯蔵することを含む。ある実施形態において、方法は、1年以下、6ヶ月以下、3ヶ月以下、2ヶ月以下、1ヶ月以下、2週間以下、1週間以下、3日以下、2日以下、1日以下、または12時間以下の期間にわたって、酸および／または塩基を貯蔵することを含む。これらの範囲の組み合わせも、可能である（例えば、5分以上であり、かつ1年以下、5時間以上であり、かつ1日以下、または1週間以上、かつ1年以下）。

10

#### 【0183】

ある実施形態において、装置（例えば、第1の装置および／または第2の装置）は、酸および／または塩基を貯蔵するように構成されている。例えば、図1Aを参照すると、いくつかの実施形態において、第1の装置118は、塩基を貯蔵するように構成されている。同様に、図2Cを参照すると、ある実施形態において、第1の装置118は、塩基を貯蔵するように構成されている。同様に、図3Aを参照すると、ある場合、第1の装置118は、塩基を貯蔵するように構成されている。

20

#### 【0184】

別の例として、図1Bを参照すると、いくつかの実施形態において、第2の装置119は、酸を貯蔵するように構成されている。同様に、図2Cを参照すると、ある場合、第2の装置119は、酸を貯蔵するように構成されている。同様に、図3Aを参照すると、いくつかの事例では、第2の装置119は、酸を貯蔵するように構成されている。

#### 【0185】

第1の装置が塩基を貯蔵するように構成されるいくつかの実施形態では、第2の装置は、酸を貯蔵するように構成されている。例えば、図1Bを参照すると、いくつかの実施形態において、システムは、第1の装置118と、第2の装置119とを備え、ある場合、第1の装置118は、塩基を貯蔵するように構成され、第2の装置119は、酸を貯蔵するように構成されている。同様に、図2Cを参照すると、いくつかの事例では、システムは、第1の装置118と、第2の装置119とを備え、ある場合、第1の装置118は、塩基を貯蔵するように構成され、第2の装置119は、酸を貯蔵するように構成されている。同様に、図3Aを参照すると、ある実施形態によるシステムは、第1の装置118と、第2の装置119とを備え、ある場合、第1の装置118は、塩基を貯蔵するように構成され、第2の装置119は、酸を貯蔵するように構成されている。代替として、第1の装置が酸を貯蔵するように構成される、実施形態において、第2の装置は、塩基を貯蔵するように構成され得る。

30

40

#### 【0186】

いくつかの実施形態によると、方法は、化学溶解および／または沈殿反応において、酸および／または塩基を反応させることを含む。

#### 【0187】

いくつかの実施形態において、装置（例えば、第1の装置および／または第2の装置）は、化学溶解および／または沈殿反応において、酸を反応させるように構成されている。例えば、図1Bを参照すると、いくつかの実施形態において、第2の装置119は、酸を反応させるように構成される（例えば、化学溶解および／または沈殿反応において）。同様に、図2Cを参照すると、ある実施形態において、第2の装置119は、酸を反応させるように構成される（例えば、化学溶解および／または沈殿反応において）。同様に、図

50

3 Aを参照すると、ある実施形態による第2の装置119は、酸を反応させるように構成される（例えば、化学溶解および／または沈殿反応において）。

【0188】

ある実施形態において、装置（例えば、第1の装置および／または第2の装置）は、化学溶解および／または沈殿反応において、塩基を反応させるように構成されている。別の例として、図1 Aを参照すると、ある実施形態において、第1の装置118は、塩基を反応させるように構成される（例えば、化学溶解および／または沈殿反応において）。同様に、図2 Cを参照すると、いくつかの実施形態において、第1の装置118は、塩基を反応させるように構成される（例えば、化学溶解および／または沈殿反応において）。同様に、図3 Aを参照すると、いくつかの実施形態による第1の装置118は、塩基を反応させるように構成される（例えば、化学溶解および／または沈殿反応において）。 10

【0189】

第1の装置が塩基を反応させるように構成される（例えば、化学溶解および／または沈殿反応において）いくつかの実施形態において、第2の装置は、酸を反応させるように構成される（例えば、化学溶解および／または沈殿反応において）。例えば、図1 Bを参照すると、いくつかの実施形態において、システムは、第1の装置118と、第2の装置119とを備え、ある場合、第1の装置118は、塩基を反応させるように構成され（例えば、化学溶解および／または沈殿反応において）、第2の装置119は、酸を反応させるように構成される（例えば、化学溶解および／または沈殿反応において）。同様に、図2 Cを参照すると、ある実施形態において、システムは、第1の装置118と、第2の装置119とを備え、ある場合、第1の装置118は、塩基を反応させるように構成され（例えば、化学溶解および／または沈殿反応において）、第2の装置119は、酸を反応させるように構成される（例えば、化学溶解および／または沈殿反応において）。同様に、図3 Aを参照すると、ある実施形態によるシステムは、第1の装置118と、第2の装置119とを備え、ある場合、第1の装置118は、塩基を反応させるように構成され（例えば、化学溶解および／または沈殿反応において）、第2の装置119は、酸を反応させるように構成される（例えば、化学溶解および／または沈殿反応において）。代替として、第1の装置が酸を反応させるように構成される実施形態において、第2の装置は、塩基を反応するように構成され得る。 20

【0190】

ある実施形態によると、装置（例えば、第1の装置および／または第2の装置）は、（i）酸を第2の電極の近くで、および／または、塩基を第1の電極の近くで収集し、（ii）酸および／または塩基を貯蔵し、および／または、（iii）酸および／または塩基を反応させる（例えば、化学溶解および／または沈殿反応において）ように構成され得る。例えば、図1 Aを参照すると、いくつかの実施形態において、第1の装置118は、（i）塩基を第1の電極の近くで収集し、（ii）塩基を貯蔵し、（iii）塩基を反応させる（例えば、化学溶解および／または沈殿反応において）ように構成されている。同様に、図2 Cを参照すると、ある実施形態において、第1の装置118は、（i）塩基を第1の電極の近くで収集し、（ii）塩基を貯蔵し、（iii）塩基を反応させる（例えば、化学溶解および／または沈殿反応において）ように構成されている。同様に、図3 Aを参照すると、ある場合、第1の装置118は、（i）塩基を第1の電極の近くで収集し、（ii）塩基を貯蔵し、（iii）塩基を反応させる（例えば、化学溶解および／または沈殿反応において）ように構成されている。 30 40

【0191】

別の例として、図1 Bを参照すると、いくつかの実施形態において、第2の装置119は、（i）酸を第2の電極の近くで収集し、（ii）酸を貯蔵し、（iii）酸を反応させる（例えば、化学溶解および／または沈殿反応において）ように構成されている。同様に、図2 Cを参照すると、ある実施形態において、第2の装置119は、（i）酸を第2の電極の近くで収集し、（ii）酸を貯蔵し、（iii）酸を反応させる（例えば、化学溶解および／または沈殿反応において）ように構成されている。同様に、図3 Aを参照す 50

ると、第2の装置119は、(i)酸を第2の電極の近くで収集し、(ii)酸を貯蔵し、(iii)酸を反応させる(例えば、化学溶解および／または沈殿反応において)ように構成されている。

#### 【0192】

いくつかの実施形態によると、各装置は、1つのみの機能を有し得る。例えば、ある実施形態において、第1の装置は、塩基を第1の電極の近くで収集するように構成され、第2の装置は、酸を第2の電極の近くで収集するように構成され、第3の装置は、塩基および／または酸を反応させるように構成される(例えば、化学溶解および／または沈殿反応において)。例えば、図1Dでは、ある実施形態において、第1の装置118は、塩基を第1の電極104の近くで収集するように構成され、第2の装置119は、酸を第2の電極105の近くで収集するように構成され、第3の装置120は、塩基を反応させるように構成される(例えば、化学溶解および／または沈殿反応において)。別の非限定的例として、いくつかの実施形態において、第1の装置は、塩基を第1の電極の近くで収集し、塩基を貯蔵するように構成され、第2の装置は、酸を第2の電極の近くで収集し、酸を貯蔵し、酸を反応させるように構成され(例えば、化学溶解および／または沈殿反応において)、第3の装置は、塩基を反応させるように構成される(例えば、化学溶解および／または沈殿反応において)。例えば、図1Dでは、いくつかの実施形態において、第1の装置118は、塩基を第1の電極104の近くで収集し、塩基を貯蔵するように構成され、第2の装置119は、酸を第2の電極105の近くで収集し、酸を貯蔵し、酸を反応させるように構成され(例えば、化学溶解および／または沈殿反応において)、第3の装置120は、塩基を反応させるように構成される(例えば、化学溶解および／または沈殿反応において)。

#### 【0193】

さらに別の例では、いくつかの実施形態において、第1の装置は、塩基を第1の電極の近くで収集するように構成され、第2の装置は、酸を第2の電極の近くで収集するように構成され、第3の装置は、塩基を貯蔵するように構成され、第4の装置は、酸を貯蔵するように構成され、第5の装置は、塩基を反応させるように構成され(例えば、化学溶解および／または沈殿反応において)、第6の装置は、酸を反応させるように構成される(例えば、化学溶解および／または沈殿反応において)。例えば、図1Eでは、いくつかの事例では、第1の装置118は、塩基を第1の電極104の近くで収集するように構成され、第2の装置119は、酸を第2の電極105の近くで収集するように構成され、第3の装置120は、塩基を貯蔵するように構成され、第4の装置121は、酸を貯蔵するように構成され、第5の装置122は、塩基を反応させるように構成され(例えば、化学溶解および／または沈殿反応において)、第6の装置123は、酸を反応させるように構成される(例えば、化学溶解および／または沈殿反応において)。

#### 【0194】

ある実施形態において、反応器は、第1のモードにあるとき(例えば、上で説明されるように)、断続的に稼働する。ある場合、反応器は、第1のモードにおいて、持続的に稼働する。ある事例では、反応器は、第1のモードにおいて、断続的に稼働する一方、収集された酸および／または塩基との反応(例えば、化学溶解および／または沈殿反応)は、持続的に稼働する。例えば、いくつかの実施形態において、反応器は、反応(例えば、化学溶解および／または沈殿反応)を持続的に実施するために十分な酸および／または塩基を生産するために断続的にのみ稼働する必要がある第1のモードにおいて稼働するとき、十分な酸および／または塩基を生産する。

#### 【0195】

いくつかの実施形態において、所望される化学反応が、電解生産される異なる組成の溶液または懸濁液を収集し、該溶液を使用して、反応器の一部または別個の装置内において、生成物を該反応物から生産することによって行われる。例えば、図4A-4Bは、ある実施形態による反応器を示し、反応器において、電解槽が、低および高pHの溶液を生産し、低および高pHの溶液は、反応器の別個のゾーンまたは別個の反応器に方向づけられ

る。いくつかの実施形態によると、酸性溶液は、 $\text{CaCO}_3$ を第1のチャンバ内で溶解させ、 $\text{CO}_2$ ガスをプロセス中に排出するために使用される（図4B参照）。第2のチャンバでは、いくつかの実施形態において、溶解させられた溶液は、電解槽によって生産されるアルカリ溶液と反応し、 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ を生産する（図4B参照）。いくつかの実施形態において、2つのチャンバは、酸性およびアルカリ溶液のための貯蔵タンクである。ある実施形態において、酸貯蔵タンクは、ポリマー材料またはガラス裏打ちを備えている。いくつかの実施形態において、アルカリ貯蔵タンクは、ポリマー材料または金属を備えている。いくつかの実施形態において、金属タンクは、鉄または鋼鉄を備えている。

【0196】

ある場合、沈殿反応の副産物は、システム（例えば、第1の反応器）の中に戻される。いくつかの事例では、システムは、沈殿反応からの副産物をシステム（例えば、第1の反応器）の中に給送するように構成されている。いくつかの実施形態において、副産物は、中性pHを有する。例えば、ある場合、副産物は、6を上回る、6.25以上、6.5以上、6.75以上、または6.9以上のpHを有する。いくつかの事例では、副産物は、8未満、7.75以下、7.5以下、7.25以下、または7.1以下のpHを有する。これらの範囲の組み合わせも、可能である（例えば、6を上回り、かつ8未満または6.9以上であり、かつ7.1以下）。いくつかの実施形態において、副産物は、pH7を有する。

【0197】

いくつかの事例では、副産物は、ハロゲン化アルカリ（例えば、水酸化アルカリの沈殿中の副産物）（例えば、 $\text{NaCl}$ ）を備えている。ある場合、副産物は、アルカリ塩（例えば、 $\text{NaClO}_4$ 、 $\text{NaNO}_3$ 、トリフル酸ナトリウム、および／または酢酸ナトリウム）を備えている。

【0198】

いくつかの実施形態において、方法は、第2のモードにおいて、反応器を稼働させることを含む。ある場合、反応器の極性は、第2のモードにおいて、第1のモードにおける反応器の極性と比較して、逆転される。いくつかの実施形態によると、第1のモードにおいて反応器を稼働させることは、第2のモードにおいて反応器を稼働させるより多くの電気を使用する。例えば、ある実施形態において、第1のモードにおいて反応器を稼働させることは、第2のモードにおいて反応器を稼働させるより少なくとも10%、少なくとも20%、少なくとも30%、または少なくとも40%多くの電気を使用する。ある場合、第1のモードにおいて反応器を稼働させることは、第2のモードにおいて反応器を稼働させるより50%以下、40%以下、30%以下、または20%以下の多くの電気を使用する。これらの範囲の組み合わせも、可能である（例えば、少なくとも10%かつ50%以下）。第2のモードに関連する任意の実施形態は、本明細書に説明されるシステムのいずれかに適用されることができる。

【0199】

いくつかの実施形態において、第2のモードにおいて反応器を稼働させることは、塩基を第2の電極の近くで反応器に添加することを含む。例えば、ある実施形態において、第2のモードにおいて反応器を稼働させることは、塩基が第2の電極における電気化学反応において使用され得るように、塩基を反応器に添加することを含む。例えば、図1Aを参照すると、いくつかの実施形態において、第2のモードにおいて反応器を稼働させることは、塩基を第2の電極105の近くで添加することを含む。同様に、図2Aを参照すると、ある実施形態において、第2のモードにおいて反応器を稼働させることは、塩基を第2の電極105の近くで添加することを含む。いくつかの実施形態によると、反応器に添加される塩基は、反応器が第1のモードにおいて稼働していたときに、第1の電極の近傍から収集され、反応器が第2のモードにおいて稼働するまで貯蔵されていたものである。ある実施形態において、第2のモードにおいて反応器を稼働させることは、添加された塩基（例えば、貯蔵されていた塩基）を第2の電極の近くで酸化させ、酸素ガスを生産することを含む。例えば、ある場合、第2のモードにおいて反応器を稼働させることは、第2の

10

20

30

40

50

電極による酸素ガスに添加された塩基の酸化を含む。

【0200】

ある実施形態において、第2のモードにおいて反応器を稼働させることは、酸を反応器に第1の電極の近くで添加することを含む。例えば、ある実施形態において、第2のモードにおいて反応器を稼働させることは、酸が第1の電極における電気化学反応において使用され得るように、酸を反応器に添加することを含む。例えば、図1Aを参照すると、いくつかの実施形態において、第2のモードにおいて反応器を稼働させることは、酸を第1の電極104の近くで添加することを含む。同様に、図2Aを参照すると、ある実施形態において、第2のモードにおいて反応器を稼働させることは、酸を第1の電極104の近くで添加することを含む。いくつかの実施形態によると、反応器に添加される酸は、反応器が第1のモードにおいて稼働していたときに、第2の電極の近傍から収集され、反応器が第2のモードにおいて稼働するまで貯蔵されていたものである。ある実施形態において、第2のモードにおいて反応器を稼働させることは、添加された酸（例えば、貯蔵されていた酸）を第1の電極の近くで還元させ、水素ガスを生産することを含む。例えば、ある場合、第2のモードにおいて反応器を稼働させることは、第1の電極による添加された酸の水素ガスへの還元を含む。

10

【0201】

対照的に、いくつかの実施形態において、第1のモードにおいて、反応器を稼働させることは、ほぼ中性入力溶液を反応器に添加することを含む。ある場合、ほぼ中性入力溶液は、6を上回る、6.25以上、6.5以上、6.75以上、または6.9以上のpHを有する。いくつかの事例では、ほぼ中性入力溶液は、8未満、7.75以下、7.5以下、7.25以下、または7.1以下のpHを有する。これらの範囲の組み合わせも、可能である（例えば、6を上回り、かつ8未満、または6.9以上であり、かつ7.1以下）。いくつかの実施形態において、ほぼ中性入力溶液は、pH7を有する。ある実施形態において、ほぼ中性入力溶液は、塩を備えている。好適な塩の例は、硫酸アルカリ、塩素酸アルカリ、ハロゲン化アルカリ、硝酸アルカリ、アルカリ過塩素酸アルカリ、酢酸アルカリ、亜硝酸アルカリ、および／またはトリフル酸アルカリを含む。

20

【0202】

いくつかの実施形態において、電気のコストが高いとき、および／または電気が乏しいとき、第1のモードではなく、第2のモードにおいて反応器を稼働させることが有利であり得る。例えば、ある実施形態において、電気が、電力プロバイダから購入されている場合、電力プロバイダからの電気のコストおよび／または電気の利用可能性が、変動し得、電気のコストが低く、および／または電気の利用可能性が高いとき、第1のモードにおいて、反応器を稼働させ、次いで、電気のコストが高く、および／または電気の利用可能性が低いとき、第2のモードにおいて反応器を稼働させることが有利であり得る。別の例として、電気が、太陽熱エネルギーまたは風力エネルギー等の再生可能源からである場合、ある実施形態において、電気の利用可能性が高いとき（例えば、日中および／または太陽熱エネルギーに関する夏の間または風力エネルギーに関する強風の時期の間）、第1のモードにおいて、反応器を稼働させ、次いで、電気の利用可能性が低い（例えば、夜間および／または太陽熱エネルギーに関する冬の間または強風を伴わない時期の間）、第2のモードにおいて反応器を稼働させることが有利であり得るように、電気の利用可能性に変動が存在し得る。ある場合、反応器は、電気のコストが、第1のコストであり、電気の利用可能性が、第1の利用可能性であるとき、第1のモードにおいて稼働し、反応器は、電気のコストが、第2のコストであり、電気の利用可能性が、第2の利用可能性であるとき、第2のモードにおいて稼働し、第2のコストは、第1のコストを上回り（例えば、少なくとも10%、少なくとも25%、少なくとも50%、または100%上回り）、および／または第1の利用可能性は、第2の利用可能性を上回る（例えば、少なくとも10%、少なくとも25%、少なくとも50%、または100%上回る）。

30

40

【0203】

いくつかの実施形態において、電解反応器によって生産される酸性および／または塩基

50

性溶液は、少なくとも部分的に高電気利用可能性および／または低電気コストの期間中に収集および／または貯蔵され、CO<sub>2</sub>を生産する酸中での化学溶解反応と、塩基中で生じる化学沈殿反応とが、低減させられたまたは低い電解槽動作の期間または電気利用可能性および／または高電気コスト中、行われることを可能にする。いくつかの実施形態において、酸性および塩基性溶液の貯蔵は、化学貯蔵として機能し、化学的に反応させられた生成物の出力（それは、概して、固体、液体、またはガスである）が、電解槽の出力率と比較して、変動が少ないこと、または平滑化されことを可能にし得る。いくつかの実施形態において、貯蔵される酸性または塩基性溶液は、化学的に反応させられた生成物が、低減させられたまたは低い電解槽動作または電気利用可能性および／または高電気コストの期間中、貯蔵された酸性または塩基性溶液を完全に枯渇させない率において生産されることを可能にするサイズまたは体積である。いくつかの実施形態において、システムは、可変電気源と、該電解槽と、該化学貯蔵タンクおよび化学反応器とを備えている。いくつかの実施形態において、方法は、より可変的または断続的電気源から化学反応生成物のあまり変動しないまたは一定または比較的に一定な流動を生産するように、そのようなシステムを動作させることを含む。

10

#### 【0204】

ある実施形態において、方法は、低電圧モード（例えば、本明細書に説明される高電圧モードより低い電圧）において、酸および塩基を生産することを含む。低電圧モードに関連する任意の実施形態が、本明細書に開示される任意のシステムとともに使用され得る。いくつかの実施形態において、方法は、酸素ガスおよび／または水素ガスを生産しない。例えば、ある実施形態において、低電圧モードにおいて生じる電解反応は、酸素ガスが生産されないように、第2の電極における水素の酸化（ $H_2 \rightarrow 2H^+ + 2e^-$ ）および第1の電極における水の還元（ $2H_2O + 2e^- \rightarrow H_2 + 2OH^-$ ）であり得る。別の例では、ある実施形態において、低電圧モードにおいて生じる電解反応は、水素ガスが生産されないように、第1の電極における水の酸化（ $2H_2O \rightarrow O_2 + 4H^+ + 4e^-$ ）および第2の電極における酸素の還元（ $O_2 + 2H_2O + 4e^- \rightarrow 4OH^-$ ）であり得る。

20

#### 【0205】

例証のために、いくつかの例示的システムが、下記に説明される。

（システム1：断続再生可能エネルギーを使用して、低コストH<sub>2</sub>を一定率で生産するための例示的システム）

30

#### 【0206】

いくつかの実施形態によると、システムは、空間的に変動する化学組成勾配（例えば、空間的に変動するpH勾配）を備えている領域を備えている反応器を備え得る。いくつかの実施形態において、反応器は、第1の電極と、第2の電極と、電解反応または複数の反応を受ける液体および／またはガスを供給する1つ以上の入口と、溶液が電解反応を受けた後に貯蔵される反応器の一部または別個の装置とを備え得る。

#### 【0207】

ある実施形態において、方法は、反応器を第1のモード（例えば、図5A-5Bに示されるように、高電圧モード）において稼働させることを含み、第1のモードは、塩基を第1の電極の近くで生産することと、酸を反応器内の第1の電極に電気化学的に結合される第2の電極の近くで生産することと、酸および／または塩基を収集することと、化学溶解および／または沈殿反応において、収集された酸および／または塩基を反応させることを含む。

40

#### 【0208】

ある実施形態において、電解反応は、H<sub>2</sub>と、O<sub>2</sub>と、酸性溶液と、塩基性溶液とを生産し得る。これは、低電圧モードより高い電圧を要求する高電圧モードの例である。高電圧モードにおいて生じる電解反応の非限定的例は、第2の電極における水の酸化（ $2H_2O \rightarrow O_2 + 4H^+ + 4e^-$ ）および第1の電極における水の還元（ $2H_2O + 2e^- \rightarrow H_2 + 2OH^-$ ）である。この反応は、第2の電極におけるpHが、0であり、第1の電極におけるpHが、14であるとき、2Vの最小電圧を要求する（図5A-5B参照）。あ

50

る実施形態において、電極において生産される酸性および塩基性溶液は、別個に収集および貯蔵され得る。

#### 【0209】

ある実施形態において、方法は、第2のモード（例えば、図6A-6Bに示されるように、低電圧モード）において反応器を稼働させることを含む。いくつかの実施形態において、反応器の極性は、第2のモードにおいて、第1のモードにおける反応器の極性と比較して、逆転される。いくつかの実施形態において、第2のモードは、収集および／または貯蔵された塩基を反応器に第2の電極の近くで添加することを含む。ある実施形態において、第2のモードは、添加された塩基を第2の電極の近くで酸化させ、酸素ガスを生産することを含む。いくつかの実施形態において、第2のモードは、収集および／または貯蔵された酸を反応器に第1の電極の近くで添加することを含む。ある実施形態において、第2のモードは、添加された酸を第1の電極の近くで還元させ、水素ガスを生産することを含む。

10

#### 【0210】

ある実施形態において、電解反応は、 $H_2$ および $O_2$ を生産する間、酸性および塩基性溶液を中和し得る。これは、前述の高電圧モードより低い電圧を要求する低電圧モードの例である。低電圧モードにおいて生じる電解反応の非限定的例は、第2の電極（例えば、アノード）における水酸化物イオンの酸化（ $4OH^- \rightarrow O_2 + 2H_2O + 4e^-$ ）および第1の電極（例えば、カソード）における陽子の還元（ $2H^+ + 2e^- \rightarrow H_2$ ）である。この反応は、第2の電極におけるpHが、14であり、第1の電極におけるpHが、0であるとき、0.4Vの最小電圧を要求する（図6A-6B参照）。ある実施形態において、反応器の入口は、8を上回るpHの溶液を第2の電極に、および6未満pHの溶液を第1の電極に供給し得る。

20

#### 【0211】

ある実施形態において、異なる反応器が、高電圧および低電圧モードで動作させられ得る。別の実施形態において、単一反応器が、高電圧モードまたは低電圧モードで動作させられ得るように構成され得る。いくつかの実施形態において、反応器は、電極に流動する液体のpHを変化させることによって、高電圧モードから低電圧モードに切り替えられ得る。例えば、高電圧モードから低電圧モードに切り替えるために、アルカリ溶液が、第2の電極に導入され得る一方、酸性溶液が、第1の電極に導入され得る。

30

#### 【0212】

いくつかの実施形態において、高電圧モード（例えば、酸／塩基を生成しながら、 $H_2$ ／ $O_2$ を生産する）と低電圧モード（例えば、酸／塩基を中和しながら、 $H_2$ ／ $O_2$ を生産する）との間で切り替えるための決定は、1日、1ヶ月、または1年全体を通して変動し得る電気のコストまたは利用可能性に基づき得る。ある実施形態において、電気のコストがある値を下回ると、反応器は、高電圧モードで稼働させられ得（例えば、 $H_2$ 、 $O_2$ 、酸、および塩基を生産しながら、より多くの電力を消費する）、電気のコストがある値を上回ると、反応器は、低電圧モードで稼働させられ得る（例えば、酸性および塩基性溶液を使用して、 $H_2$ および $O_2$ を生産しながら、より少ない電力を消費する）。いくつかの実施形態において、システムは、 $H_2$ を生産する電気コストを効果的に裁定し得る。すなわち、電気が安価であるとき、システムは、安価な電気エネルギーの一部が、物理的に貯蔵され得る（例えば、酸性および塩基性溶液の形態で）化学エネルギーに変換される高電圧モードで動作することによって、そのより多くの量を使用し、電気が高価であるとき、システムは、貯蔵された化学エネルギー（例えば、酸性および塩基性溶液）が $H_2$ および $O_2$ を生産するためのエネルギー要件を降下させるために使用され得る低電圧モードで動作することによって、そのより少ない量を使用し得る。いくつかの実施形態において、システムは、 $H_2$ および $O_2$ を生産する電気コストを減少させる役割を果たし得る。いくつかの実施形態において、システムは、価格または利用可能性において変動する電気を使用して、水素および酸素を一定率で生産する役割を果たし得る。

40

#### 【0213】

50

図 7 は、システムが断続的再生可能電気を使用して  $H_2$  を生産するエネルギーコストを 20 % 低減させる非限定的例を図示する。この例では、再生可能エネルギーのコストは、 $0.02 \$ / kWh \sim 0.07 \$ / kWh$  (典型的 1 日における典型的風力タービンのエネルギー生産率に従って) で変動する。固定電圧 ( $1.2 V$ 、 $32 kWh / kg H_2$ ) で動作する  $1 kWh$  アルカリまたは PEM 電解槽に関する電気コスト対時間が、図 7 に示される。図 7 は、いくつかの実施形態による電気のコストが平均 ( $0.05 \$ / kWh$ ) を下回るとき、高電圧モード ( $2 V$ 、 $54 kWh / kg H_2$ ) で、電気のコストが平均を上回るとき、低電圧モード ( $0.4 V$ 、 $10 kWh / kg H_2$ ) で動作する可変電圧電解槽のエネルギーコストも示す。この例では、両電解槽は、 $H_2$  を同じ率で生産し、平均して同一量のエネルギー ( $32 kWh / kg H_2$ ) を使用するが、しかしながら、2 つの槽を稼働させるエネルギーコストは、異なる。この例では、可変電圧電解槽は、より少ない高価な電気 (低電圧モードで動作することによって) と、より多くの安価な電気 (高電圧モードで動作することによって) とを使用する。この例では、固定電圧電解槽に関する平均エネルギーコストは、 $0.05 \$ / kWh$  であり、可変電圧電解槽に関する平均エネルギーコストは、 $0.04 \$ / kWh$  (20 % より少ない) である。いくつかの実施形態によると、可変電圧電解槽を用いて可能なコスト節約の量は、コスト変動の大きさに比例すること、すなわち、電気コストの変動が大きいほどコスト節約がより大きくなることに留意されたい。

10

(システム 2 : 断続的再生可能電気を使用して、低コスト水素および酸性 / 塩基性溶液を同時生産するための例示的システム)

20

#### 【0214】

いくつかの実施形態によると、システムは、空間的に変動する化学組成勾配 (例えば、空間的に変動する pH 勾配) を備えている領域を備えている反応器を備え得る。いくつかの実施形態において、反応器は、第 1 の電極と、第 2 の電極と、電解反応または複数の反応を受ける液体および / またはガスを供給する 1 つ以上の入口と、溶液が電解反応を受けた後に貯蔵される反応器の一部または別個の装置とを備え得る。いくつかの実施形態において、電解反応は、約 6 未満の pH を第 2 の電極の近くで、約 8 を上回る pH を第 1 の電極の近くで生産し得る。高および低 pH の溶液は、別個に収集および貯蔵され得る。いくつかの実施形態において、電極は、電解反応のうちの 1 つ以上を実施し、高または低 pH 溶液を生産するように構成され得る。

30

#### 【0215】

ある実施形態において、電解反応は、 $H_2$  と、 $O_2$  と、酸性溶液と、塩基性溶液とを生産し得る。これは、低電圧モードより高い電圧を要求する高電圧モードの例である。高電圧モードにおいて生じる電解反応の非限定的例は、第 2 の電極 (例えば、アノード) における水の酸化 ( $2 H_2 O \rightarrow O_2 + 4 H^+ + 4 e^-$ ) および第 1 の電極 (例えば、カソード) における水の還元 ( $2 H_2 O + 2 e^- \rightarrow H_2 + 2 OH^-$ ) である。この反応は、第 2 の電極における pH が、0 であり、第 1 の電極における pH が、14 であるとき、2 V の最小電圧を要求する (図 5 A - 5 B 参照)。ある実施形態において、電極において生産される酸性および塩基性溶液は、別個に収集および貯蔵され得る。

#### 【0216】

40

ある実施形態において、反応器は、高電圧モードより少ない電圧を要求する低電圧モードでは、随時、酸性および塩基性溶液を生産し得る。低電圧モードにおいて酸性および塩基性溶液を生産する電解反応の非限定的例は、以下を含む。

#### 【0217】

ある実施形態において、低電圧モードにおいて生じる電解反応は、第 2 の電極 (例えば、アノード) における水素の酸化 ( $H_2 \rightarrow 2 H^+ + 2 e^-$ ) および第 1 の電極 (例えば、カソード) における水の還元 ( $2 H_2 O + 2 e^- \rightarrow H_2 + 2 OH^-$ ) (例えば、 $HRR / HER$  反応) であり得る。この反応は、第 2 の電極における pH が、0 であり、第 1 の電極における pH が、14 であるとき、0.8 V の最小電圧を要求する (図 8 A - 8 B 参照)。

50

## 【0218】

ある実施形態において、低電圧モードにおいて生じる電解反応は、第2の電極（例えば、アノード）における水の酸化（ $2\text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{O}_2 + 4\text{H}^+ + 4\text{e}^-$ ）および第1の電極（例えば、カソード）における酸素の還元（ $\text{O}_2 + 2\text{H}_2\text{O} + 4\text{e}^- \rightarrow 4\text{OH}^-$ ）（例えば、OER/ORR反応）であり得る。この反応は、第2の電極におけるpHが、0であり、第1の電極におけるpHが、14であるとき、0.8Vの最小電圧を要求する（図9A-9B参照）。

## 【0219】

いくつかの実施形態において、高電圧モード（例えば、 $\text{H}_2/\text{O}_2$ の同時発生を伴って酸/塩基を生成する）または低電圧モード（例えば、ガスの正味量を生産せずに酸/塩基を生成する）間で切り替えるための決定は、1日、1ヶ月、または1年全体を通して変動し得る電気のコストまたは利用可能性に基づき得る。ある実施形態において、電気のコストがある値を下回ると、反応器は、高電圧モード（例えば、 $\text{H}_2$ 、 $\text{O}_2$ 、酸および塩基を生産しながら、より多くの電力を消費する）で稼働させられ得る。ある実施形態において、電気のコストがある値を上回ると、反応器は、低電圧モード（例えば、より少ない電力を消費し、酸および塩基のみを生産する）で稼働させられ得る。

## 【0220】

いくつかの実施形態において、システムは、 $\text{H}_2$ および $\text{O}_2$ を酸性および塩基性溶液とともに同時生産することによって、低電気価格を利用し得る。すなわち、電気が安価であるとき、システムは、酸、塩基、 $\text{H}_2$ 、および $\text{O}_2$ を生産する高電圧モードで動作することによって、その多くの量を使用し得、電気が高価であるとき、システムは、酸および塩基を生産するが、 $\text{H}_2$ または $\text{O}_2$ の正味量を生産しない低電圧モードで動作することによって、そのより少ない量を使用し得る。いくつかの実施形態において、システムは、 $\text{H}_2$ および $\text{O}_2$ を生産する電気コストを減少させる役割を果たす。

（システム3：断続再生可能エネルギーを使用して、低コスト酸/塩基を一定率で生産するための例示的システム）

## 【0221】

いくつかの実施形態によると、システムは、空間的に変動する化学組成勾配（例えば、空間的に変動するpH勾配）を備えている領域を備えている反応器を備え得る。いくつかの実施形態において、反応器は、第1の電極と、第2の電極と、電解反応または複数の反応を受ける液体および/またはガスを供給する1つ以上の入口と、溶液が電解反応を受けた後に貯蔵される反応器の一部または別個の装置とを備え得る。いくつかの実施形態において、電解反応は、約6未満のpHを第2の電極の近くで、約8を上回るpHを第1の電極の近くで生産し得る。高および低pHの溶液は、別個に収集および貯蔵され得る。いくつかの実施形態において、電極は、電解反応のうちの1つ以上を実施し、高または低pH溶液を生産するように構成され得る。

## 【0222】

ある実施形態において、電解反応は、 $\text{H}_2$ と、 $\text{O}_2$ と、酸性溶液と、塩基性溶液とを生産し得る。これは、それが後に説明されるであろう燃料電池モードより高い電圧を要求するので、電解モードの例である。電解モードにおいて生じる電解反応の非限定的例は、第2の電極（例えば、アノード）における水の酸化（ $2\text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{O}_2 + 4\text{H}^+ + 4\text{e}^-$ ）および第1の電極（例えば、カソード）における水の還元（ $2\text{H}_2\text{O} + 2\text{e}^- \rightarrow \text{H}_2 + 2\text{OH}^-$ ）である。この反応は、第2の電極におけるpHが、0であり、第1の電極におけるpHが、14であるとき、2Vの最小電圧を要求する（図5A-5B参照）。ある実施形態において、電極において生産される酸性および塩基性溶液は、別個に収集および貯蔵され得る。

## 【0223】

ある実施形態において、燃料電池モードにおいて生じる反応は、第2の電極（例えば、アノード）における水素の酸化（ $\text{H}_2 \rightarrow 2\text{H}^+ + 2\text{e}^-$ ）および第1の電極（例えば、カソード）における酸素の還元（ $\text{O}_2 + 2\text{H}_2\text{O} + 4\text{e}^- \rightarrow 4\text{OH}^-$ ）（例えば、HRR/

ORR反応)であり得る。これは、エネルギーを生産する自発反応をもたらす(図10A-10B参照)。

【0224】

いくつかの実施形態において、システムは、酸性および塩基性溶液を生産する電気コストを効果的に裁定し得る。すなわち、電気が安価であるとき、システムは、安価な電気エネルギーの一部が物理的に貯蔵され得る( $H_2$ および $O_2$ ガスの形態において)化学エネルギーに変換される電解モードで動作することによって、その多くの量を使用し、電気が高価であるとき、システムは、その中に貯蔵された化学エネルギー( $H_2$ および $O_2$ ガス)が酸、塩基、および電気を生成するために使用され得る燃料電池モードで動作することによって、そのより少ない量を使用し得る。いくつかの実施形態において、システムは、酸および塩基の溶液を生産する電気コストを減少させる役割を果たす。いくつかの実施形態において、システムは、価格または利用可能性において変動する電気を使用して、酸性および塩基性溶液を一定率で生産する役割を果たす。

【0225】

いくつかの実施形態において、化学溶解および／または沈殿反応は、反応器の内側で生じる。

【0226】

ある実施形態によると、反応器は、第1の電極と第2の電極との間で空間的に変動する化学組成勾配を備えている。いくつかの実施形態において、空間的に変動する化学組成勾配は、空間的に変動するpH勾配を備えている。例えば、図2Bを参照すると、ある場合、システム200は、アルカリ領域106を第1の電極104の近くに、酸性領域107を第2の電極105の近くに備えている。したがって、システム200は、空間的に変動する化学組成勾配(例えば、空間的に変動するpH勾配)を第1の電極と第2の電極との間に備えている。いくつかの実施形態において、第1の領域は、酸性領域を備えている。ある実施形態において、第2の領域は、アルカリ領域を備えている。他の実施形態において、第1の領域は、アルカリ領域を備え、第2の領域は、酸性領域を備えている。

【0227】

いくつかの実施形態において、反応器は、空間的に変動する化学組成勾配(例えば、空間的に変動するpH勾配)が、少なくとも部分的に電解によって確立および／または維持されるように構成されている。例えば、図2Bを参照すると、ある事例では、システム200は、アルカリ領域106と、酸性領域107とを備えている空間的に変動する化学組成勾配(例えば、空間的に変動するpH勾配)を備えている。いくつかのそのような実施形態において、この空間的に変動する化学組成勾配(例えば、空間的に変動するpH勾配)は、電解によって確立および／または維持される。中性電解質の電解は、いくつかの実施形態によると、空間的に変動する化学組成勾配(例えば、空間的に変動するpH勾配)を第1の電極104と第2の電極105等の電極間に生産することができる。いくつかの実施形態において、電解反応が、化学組成勾配を電気化学槽の正の電極と負の電極との間に生産するために使用される。

【0228】

ある実施形態によると、電解生産された化学組成勾配は、反応物を一方の電極の近くの化学環境に給送し、電解生産された化学組成勾配を使用して、該反応物から、該反応物またはその成分が他方の電極に向かって拡散するにつれて生成物を生産することによって、所望の化学反応を行うために採用されることができる。

【0229】

いくつかの実施形態において、電解は、加水分解を備えている。本明細書で使用されるように、加水分解は、水の電解を指す。例えば、いくつかの実施形態において、カソードにおいて生じる反応は、2個の $H_2O$ 分子および2個の電子を $H_2$ および $2OH^-$ に変換する一方、アノードにおいて生じる反応は、2個の $H_2O$ 分子を4個の電子、 $O_2$ 、および4個の陽子に変換する。いくつかの実施形態において、第1の電極104の近くの水酸化物イオンの発生は、第1の電極104の近くでアルカリpHを確立および／または維持

し、アルカリ領域 106 を確立および／または維持する一方、第 2 の電極 105 の近くの陽子の発生は、第 2 の電極 105 の近くで酸性 pH を確立し、酸性領域 107 を確立および／または維持する。したがって、ある実施形態において、反応器は、空間的に変動する化学組成勾配（例えば、空間的に変動する pH 勾配）が、少なくとも部分的に加水分解によって確立および／または維持されるように構成されている。

#### 【0230】

ある実施形態によると、反応器は、空間的に変動する化学組成勾配（例えば、空間的に変動する pH 勾配）の第 1 の領域（例えば、酸性領域）に接続された入口を備えている。ある実施形態において、電気化学反応器および／または入口は、固体（例えば、 $\text{CaCO}_3$ ）を受け取るように構成されている。

#### 【0231】

いくつかの実施形態において、反応器は、反応器出口を備えている。いくつかの実施形態において、反応器出口は、 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ （例えば、固体水酸化カルシウム）および／または石灰（ $\text{CaO}$ ）を放出するように構成されている。いくつかの実施形態において、反応器は、空間的に変動する化学組成勾配（例えば、空間的に変動する pH 勾配）の第 2 の領域（例えば、アルカリ領域）に接続された出口を備えている。ある実施形態において、出口は、固体が反応器から排出され得るように構成されている。いくつかの実施形態において、反応器は、出口に関連付けられ、固体を反応器から除去するように構成された固体取り扱い装置を備えている。例えば、いくつかの実施形態において、固体取り扱い装置は、固体（固体水酸化ニッケル、固体水酸化カルシウム、または固体水酸化マグネシウム等の固体金属水酸化物等）を反応器から除去するように構成されている。固体取り扱い装置の例は、限定ではないが、コンベヤベルト、オーガ、ポンプ、シュート、または固体を反応器から離れるように移送することが可能である任意の他のデバイスを含む。いくつかの実施形態において、固体取り扱い装置は、流体流、濾過、沈殿、遠心力、電気泳動、誘電泳動、または磁気分離のうちの 1 つまたはそれらの組み合わせを使用して、固体を液体から分離する。

#### 【0232】

いくつかの実施形態において、反応器は、2 つ以上の反応器出口（例えば、少なくとも 1、少なくとも 2、少なくとも 3、少なくとも 4、5 以下、4 以下、3 以下、または 2 以下であり、これらの範囲の組み合わせも可能）を備えている。ある実施形態において、反応器は、第 2 の出口を備えている。

#### 【0233】

ある実施形態において、第 2 の出口は、ガス（例えば、 $\text{CO}_2$ 、 $\text{O}_2$ 、および／または  $\text{H}_2$ ）を放出するように構成されている。いくつかの事例では、 $\text{CO}_2$  は、隔離され、液体燃料において使用され、酸素燃焼において使用され、向上された油回収において使用され、ドライアイスを生産するために使用され、および／または飲料中の原料として使用されることになる。いくつかの実施形態において、 $\text{O}_2$  は、隔離され、酸素燃焼として使用され、CCS 用途において使用され、および／または向上された油回収において使用されることになる。ある場合、 $\text{H}_2$  は、隔離され、および／または燃料として使用される（例えば、燃料電池において、および／またはシステムを加熱するため）ことになる。いくつかの実施形態において、システムから放出された  $\text{CO}_2$ 、 $\text{O}_2$ 、および／または  $\text{H}_2$  の少なくとも一部（例えば、少なくとも 10%、少なくとも 25%、少なくとも 50%、少なくとも 75%、少なくとも 90%、または全て）は、窯の中に給送される。

#### 【0234】

いくつかの実施形態において、反応器は、第 3 の出口および／または第 4 の出口を備えている。ある場合、第 2 の出口、第 3 の出口、および／または第 4 の出口は、 $\text{CO}_2$ 、 $\text{O}_2$ 、および／または  $\text{H}_2$  を放出するように構成されている。例えば、ある場合、第 2 の出口は、 $\text{CO}_2$  および  $\text{O}_2$  を放出するように構成される一方、第 3 の出口は、 $\text{H}_2$  を放出するように構成されている。ある事例では、第 2 の出口は、 $\text{CO}_2$  を放出するように構成され、第 3 の出口は、 $\text{O}_2$  を放出するように構成され、第 4 の出口は、 $\text{H}_2$  を放出するよう

10

20

30

40

50

に構成されている。

【0235】

いくつかの実施形態によると、反応器は、第1の電極と第2の電極との間でイオンに対して選択的に透過性である1つ以上の膜をさらに備えている。ある実施形態において、イオンに対して選択的に透過性である1つ以上の膜は、イオンに対して選択的に透過性である2つの膜を備えている。ある実施形態において、イオンに対して選択的に透過性である2つの膜は、互いに異なる。

【0236】

いくつかの実施形態において、イオンに対して選択的に透過性である1つ以上の膜は、固体が第1の電極上に沈殿することを防止し、固体が第1の電極を不動態化することを防止し、および／または、2つの異なる固体が互いに汚染することを防止するように構成されている。ある実施形態によると、イオンに対して選択的に透過性である膜は、固体の通過を制限（または排除）しながら、イオンがそれを通過することを可能にする。例えば、いくつかの実施形態において、金属イオン（例えば、 $\text{Ca}^{2+}$ ）は、それを通過し得る一方、固体金属塩（例えば、固体 $\text{CaCO}_3$ 等の固体金属炭酸塩）または沈殿物（例えば、固体 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 等の固体金属水酸化物）は、制限される（またはそれを全く通過しない）。

【0237】

いくつかの実施形態において、イオンに対して選択的に透過性である膜は、イオンが、それを通過することを可能にするが、非イオン化合物の通過を制限（または排除）する。ある実施形態において、イオンに対して選択的に透過性である膜は、イオンが、第1の率で、それを通過することを可能にし、非イオン化合物が、第1の率より低速の第2の率で、それを通過することを可能にする。いくつかの実施形態において、イオンに対して選択的に透過性である膜は、あるイオンが、それを通過することを可能にするが、他のイオンの通過を制限（または排除）する。ある実施形態において、イオンに対して選択的に透過性である膜は、あるイオンが、第1の率で、それを通過することを可能にし、他のイオンが、第1の率より低速の第2の率で、それを通過することを可能にする。いくつかの実施形態において、イオンに対して選択的に透過性である膜は、ある金属イオンがそれを通過することを可能にするが、その他の通過を制限（または排除）し得（またはある金属イオンが、その他より高速でそれを通過することを可能にし得）、 $\text{H}^+$ がそれを通過することを可能にするが、 $\text{OH}^-$ の通過を制限（または排除）し得（または $\text{H}^+$ が、 $\text{OH}^-$ より高速でそれを通過することを可能にし得）、 $\text{OH}^-$ がそれを通過することを可能にするが、 $\text{H}^+$ の通過を制限（または排除）し得（または $\text{OH}^-$ が、 $\text{H}^+$ より高速でそれを通過することを可能にし得）、金属イオンがそれを通過することを可能にするが、 $\text{H}^+$ および／または $\text{OH}^-$ の通過を制限（または排除）し得（またはことを可能にする金属イオンが、 $\text{H}^+$ および／または $\text{OH}^-$ より高速でそれを通過することを可能にし得）、および／または、 $\text{H}^+$ および／または $\text{OH}^-$ イオンがそれを通過することを可能にするが、金属イオンの通過を制限（または排除）し得る（または $\text{H}^+$ および／または $\text{OH}^-$ イオンが、金属イオンより高速でそれを通過することを可能にし得る）。

【0238】

例えば、いくつかの実施形態において、イオンに対して選択的に透過性である膜は、 $\text{OH}^-$ イオンに対して透過性であるが、 $\text{Ca}^{2+}$ イオンに対して比較的あまり透過性ではない一方、イオンに対して選択的に透過性である膜は、 $\text{Ca}^{2+}$ イオンに対して透過性であるが、 $\text{OH}^-$ イオンに対して比較的あまり透過性ではない。この例では、第1の領域（例えば、酸性領域）からの $\text{Ca}^{2+}$ は、イオンに対して選択的に透過性である膜を通して、別個のチャンバの中に拡散し得るが、イオンに対して選択的に透過性である膜を通して、第2の領域（例えば、アルカリ領域）の中に拡散し得ない。加えて、この例では、第2の領域（例えば、アルカリ領域）からの $\text{OH}^-$ イオンは、イオンに対して選択的に透過性である膜を通して、別個のチャンバの中に拡散できるが、イオンに対して選択的に透過性である膜を通して拡散できない。したがって、この例では、 $\text{Ca}^{2+}$ および $\text{OH}^-$ は、

別個のチャンバ内でのみ、反応し、固体  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  を形成することが可能であり、固体  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  がカソードまたはアノード上に形成されることを防止するであろう。故に、いくつかの実施形態において、イオンに対して選択的に透過性である 1 つ以上の膜は、固体（例えば、固体  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  等の固体金属水酸化物）が、第 1 の電極（例えば、カソード）上に沈殿することを防止し、固体（例えば、固体  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  等の固体金属水酸化物）が第 1 の電極（例えば、カソード）を不動態化することを防止し、および／または、2 つの異なる固体、すなわち、化学化合物（例えば、固体炭酸カルシウム等の固体金属炭酸塩等の金属塩）および沈殿物（例えば、固体  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  等の固体金属水酸化物等の固体水酸化物）が互いに汚染することを防止し得る。

#### 【0239】

ある実施形態において、反応器は、電気化学および化学手段を通した、か焼または分解された鉱物または金属塩（例えば、金属炭酸塩）の生産を対象とする。いくつかの実施形態において、熱エネルギーの生産のための化石燃料の使用と温室効果ガス（例えば、 $\text{CO}_2$ ）または大気汚染物質であるガスの関連付けられる生産とは、それを分解するために鉱物または金属塩の加熱を伴う従来の熱か焼の代わりに、そのような反応器の使用を通して、低減させられ、または回避される。

#### 【0240】

ある側面は、セメントを生産するためのシステムに関連する。いくつかの実施形態において、システムは、反応器を備えている。ある実施形態において、反応器は、上記または本明細書のいずれかの場所に開示される反応器実施形態またはそれらの組み合わせのいずれかを備えている。

#### 【0241】

ある実施形態において、システム（例えば、本明細書に説明される任意のシステム）は、窯を備えている。例えば、図 1 F を参照すると、いくつかの実施形態において、システムは、電気化学反応器と、窯 150 とを備えている。同様に、図 2 D を参照すると、ある実施形態において、システムは、電気化学反応器と、窯 150 とを備えている。いくつかの実施形態において、窯は、窯入口を備えている。いくつかの実施形態によると、窯は、直接、反応器および／または装置（例えば、沈殿反応において、酸および／または塩基と反応するように構成された装置）に取り付けられる。窯（例えば、本明細書に説明される任意の窯）は、本明細書に説明される任意のシステムにおいて使用され得る。

#### 【0242】

いくつかの実施形態によると、窯は、反応器、反応器出口、および／または 1 つ以上の装置から下流にある。ある実施形態によると、システムは、反応器、反応器出口、および／または 1 つ以上の装置と窯入口との間に加熱器をさらに備えている。加熱器の例は、その内側に設置された物質を加熱または脱水するデバイスを含む。いくつかの実施形態において、反応器出口は、直接、窯入口に取り付けられる。

#### 【0243】

本明細書で使用されるように、直接取り付けは、第 1 のユニットと第 2 のユニットとの間で、それらが、互いに接続され、ユニット間で輸送されている材料の組成が、それが第 1 のユニットから第 2 のユニットに移送されるときに実質的に変化しない（すなわち、成分が、相対存在量において、5 % を上回って変化しない）とき、存在する（および 2 つのユニットは、互いに「直接取り付けられている」と言える）。例証的例として、第 1 および第 2 のユニットを接続し、導管の内容物の圧力および温度が調節されるが、内容物の組成が改変されない導管は、第 1 および第 2 のユニットに直接取り付けられていると言えるであろう。他方で、分離ステップが実施され、および／または、第 1 のユニットから第 2 のユニットへの通過中、導管の内容物の組成を実質的に改変する化学反応が実施される場合、導管は、第 1 および第 2 のユニットを直接接続すると言えないであろう。いくつかの実施形態において、互いに直接取り付けられた 2 つのユニットは、第 1 のユニットから第 2 のユニットに移送されるとき、材料の相変化が存在しないように構成されている。

#### 【0244】

ある実施形態において、窯入口は、固体水酸化カルシウムの少なくとも一部から導出される固体水酸化カルシウムおよび／または固体酸化カルシウムの少なくとも一部を受け取るように構成されている。例えば、いくつかの実施形態において、水酸化カルシウムが、反応器、反応器出口、および／または追加の装置から収集され、反応器、反応器出口、および／または追加の装置は、窯入口が固体水酸化カルシウムの少なくとも一部を受け取るように構成されるように、直接窯入口に取り付けられる。ある実施形態において、水酸化カルシウムは、反応器、反応器出口、および／または追加の装置から収集され、加熱器に移送される。いくつかの実施形態において、加熱器は、水酸化カルシウムを酸化カルシウムに完全または部分的に変換する。いくつかの実施形態において、窯入口は、加熱器からの固体水酸化カルシウムの少なくとも一部から導出される固体水酸化カルシウムおよび／または固体酸化カルシウムの少なくとも一部を受け取るように構成されている。

10

#### 【0245】

いくつかの実施形態によると、窯は、セメント作製プロセスの一部として、 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ （例えば、固体水酸化カルシウム）および／または石灰（例えば、固体酸化カルシウム）および／またはその反応生成物を加熱するように構成されている。いくつかの実施形態において、セメント作製プロセスの一部として $\text{Ca}(\text{OH})_2$ および／または石灰を加熱することは、 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ および／または石灰を窯内で他の化合物とともに加熱することを含む。例えば、 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ および／または石灰が、 $\text{SiO}_2$ または他の鉱物とともに、窯内で加熱され得る。

#### 【0246】

ある場合、システムは、電気化学反応器の代わりに、従来の熱か焼を使用する実質的に類似するシステムより低い正味炭素排出量（例えば、少なくとも10%低い、少なくとも25%低い、少なくとも50%低い、少なくとも75%低い、または少なくとも90%低い）を有する。いくつかの事例では、システムは、正味ゼロ炭素排出量を有する。

20

#### 【0247】

ある側面は、沈殿物を空間的に変動する化学組成勾配（例えば、空間的に変動するpH勾配）内で形成する方法に関連する。いくつかの実施形態によると、方法は、上記または本明細書のいずれかの場所に開示される実施形態またはそれらの組み合わせのいずれかに関連付けて説明されるような反応器および／またはシステム内で実施される。

#### 【0248】

いくつかの実施形態によると、方法は、化学化合物（例えば、金属塩）を空間的に変動する化学組成勾配（例えば、空間的に変動するpH勾配）の第1の領域（例えば、酸性領域）に移送することを含む。ある実施形態において、金属塩は、金属炭酸塩を備えている。いくつかの実施形態によると、金属炭酸塩は、炭酸カルシウム、炭酸マグネシウム、および／または炭酸ニッケルを備えている。例えば、いくつかの実施形態によると、方法は、炭酸カルシウムを空間的に変動するpH勾配の第1の領域（例えば、酸性領域）に移送することを含む。

30

#### 【0249】

ある実施形態によると、化学化合物（例えば、金属塩）は、空間的に変動する化学組成勾配（例えば、空間的に変動するpH勾配）内の液体中で溶解および／または反応させられる。液体の非限定的例は、非水溶液または水溶液を含む。非水溶液の例は、非水性溶媒と、電解質塩とを備えている溶液、および／またはイオン液体を備えている溶液を含む。水溶液の例は、水と、電解質塩とを備えている溶液を含む。電解質塩の例は、 $\text{NaSO}_4$ および $\text{NaClO}_4$ を含む。いくつかの実施形態において、化学化合物（例えば、金属塩）は、空間的に変動する化学組成勾配（例えば、空間的に変動するpH勾配）内の液体中で溶解および反応させられる。例えば、いくつかの実施形態において、炭酸カルシウムが、空間的に変動する化学組成勾配（例えば、空間的に変動するpH勾配）内の液体中で溶解および反応させられる。いくつかの実施形態において、炭酸カルシウムが、空間的に変動する化学組成勾配（例えば、空間的に変動するpH勾配）内の液体中で溶解および反応させられる。例えば、化学化合物（例えば、金属塩）（例えば、炭酸カルシウム）が、第

40

50

1の領域（例えば、酸性領域）に添加され、化学化合物（例えば、金属塩）（例えば、炭酸カルシウム）が、化学化合物（例えば、金属塩）（例えば、炭酸カルシウム）が、溶解させられ、金属等の1つ以上の元素を形成する（例えば、 $\text{Ca}^{2+}$ および $\text{HCO}_3^-$ または $\text{Ca}^{2+}$ および $\text{H}_2\text{CO}_3$ を形成する）ように、第1の領域（例えば、酸性領域）内の陽子と反応する。いくつかの実施形態において、1つ以上の元素（例えば、 $\text{Ca}^{2+}$ 等の金属）が、第2の領域（例えば、アルカリ領域）に移動し、第2の領域において、第2の領域（例えば、アルカリ領域）内の水酸化物イオンと反応し、沈殿物（例えば、 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 等の金属沈殿物）を形成する。

#### 【0250】

いくつかの実施形態において、第1の領域は、酸性領域を備えている。ある実施形態において、第2の領域は、アルカリ領域を備えている。いくつかの実施形態によると、化学化合物（例えば、金属塩）が、酸性領域内で溶解させられ、1つ以上の元素（例えば、 $\text{Ca}^{2+}$ 等の金属）が、アルカリ領域内で反応する。他の実施形態において、第1の領域は、アルカリ領域を備えている。いくつかの実施形態において、第2の領域は、酸性領域を備えている。ある実施形態によると、化学化合物（例えば、金属塩）が、アルカリ領域内で溶解させられ、1つ以上の元素（例えば、 $\text{Ca}^{2+}$ 等の金属）が、酸性領域内で反応する。

10

#### 【0251】

いくつかの実施形態によると、方法は、沈殿物を空間的に変動する化学組成勾配（例えば、空間的に変動するpH勾配）の第2の領域（例えば、アルカリ領域）から収集することを含む。ある実施形態において、沈殿物は、金属水酸化物等の金属沈殿物を備えている。金属水酸化物の非限定的例は、水酸化ニッケル、水酸化カルシウム、および水酸化マグネシウムを含む。例えば、上記に与えられる例では、1つ以上の元素（例えば、 $\text{Ca}^{2+}$ 等の金属）は、第2の領域（例えば、アルカリ領域）に移動し、第2の領域において、第2の領域（例えば、アルカリ領域）内の水酸化物イオンと反応し、沈殿物（例えば、 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 等の金属沈殿物）を形成する。故に、いくつかの実施形態において、方法は、固体水酸化カルシウムを空間的に変動する化学組成勾配（例えば、空間的に変動するpH勾配）のアルカリ領域から収集することを含む。1つ以上の元素（例えば、金属）が第2の領域（例えば、アルカリ領域）に移動し得る方法の非限定的例は、拡散、対流による移送、および／または流動による移送を含む。

20

30

#### 【0252】

ある実施形態によると、沈殿物は、空間的に変動する化学組成勾配（例えば、空間的に変動するpH勾配）内で溶解および／または反応させられ化学化合物（例えば、金属塩）からの1つ以上の元素（例えば、金属）を備えている。いくつかの実施形態において、1つ以上の元素は、金属元素を備えている。本明細書で使用されるような金属は、金属性金属または金属イオンを指す。いくつかの実施形態において、沈殿物は、金属塩からの金属カチオンを備え、金属塩は、空間的に変動する化学組成勾配（例えば、空間的に変動するpH勾配）内で溶解および／または反応させられており、その金属カチオンは、沈殿物内のアニオンにイオンの結合されている。例えば、ある実施形態において、固体水酸化カルシウムは、空間的に変動する化学組成勾配（例えば、空間的に変動するpH勾配）内で溶解および／またはと反応させられた炭酸カルシウムからのカルシウムを備えている。

40

#### 【0253】

ある実施形態によると、方法は、セメントを作製する方法である。

#### 【0254】

ある実施形態によると、方法は、 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ （例えば、固体水酸化カルシウム）および／または石灰（例えば、固体酸化カルシウム）および／またはその反応生成物を窯内で加熱し、セメントを作製することを含む。いくつかの実施形態において、これは、水酸化カルシウムを反応器から取り出し、それを直接窯内に設置することを含む。代替として、ある実施形態において、水酸化カルシウムを収集することと、窯（例えば、加熱器）内で加熱することとの合間に、ステップが存在する。いくつかの実施形態において、加熱器

50

は、水酸化カルシウムをその酸化カルシウムに変換し、次いで、水酸化カルシウムおよび／または酸化カルシウムは、窯内で加熱される。いくつかの実施形態において、加熱器は、水酸化カルシウムの100%（重量比）をその酸化カルシウムに変換し、酸化カルシウムのみが、窯内で加熱される。他の実施形態において、加熱器は、水酸化カルシウムの10%以上、20%以上、30%以上、40%以上、50%以上、最大90%、最大95%、または最大99%（重量比）を酸化カルシウムに変換する。これらの範囲の組み合わせも、可能である（例えば、10%～100%（重量比）（それらの値を包む））。いくつかの実施形態において、水酸化カルシウムおよび酸化カルシウムの両方は、窯内で加熱される。加熱器の例は、その内側に設置された物質を加熱または脱水するデバイスを含む。

【0255】

10

いくつかの実施形態において、 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ （例えば、固体水酸化カルシウム）および／または石灰（例えば、固体酸化カルシウム）および／またはその反応生成物を窯内で加熱し、セメントを作製することは、 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ （例えば、固体水酸化カルシウム）および／または石灰（例えば、固体酸化カルシウム）および／またはその反応生成物を窯内で他の化合物とともに加熱することを含む。例えば、 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ （例えば、固体水酸化カルシウム）および／または石灰（例えば、固体酸化カルシウム）および／またはその反応生成物は、窯内で、 $\text{SiO}_2$ または他の鉱物とともに加熱され得る。

【0256】

ある実施形態において、 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ （例えば、固体水酸化カルシウム）および／または石灰（例えば、固体酸化カルシウム）および／またはその反応生成物を窯内で加熱後、セメントが作製される前、後続ステップが存在する。例えば、ある実施形態において、窯後に冷却ステップが存在する。

20

【0257】

いくつかの実施形態によると、方法は、バッチプロセスの一部である。ある実施形態において、沈殿物（例えば、 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 等の金属水酸化物）は、周期的に、反応器から収集される。ある実施形態によると、方法は、持続的に実施される。いくつかの実施形態において、化学化合物（例えば、 $\text{CaCO}_3$ 等の金属炭酸塩等の金属塩）が、持続的または周期的に、アノードおよび／または第1の領域（例えば、酸性領域）において添加される。ある実施形態において、沈殿物（例えば、 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 等の金属水酸化物）が、持続的または周期的に、収集される。沈殿物（例えば、 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 等の金属水酸化物）を収集することの非限定的例は、それを流動流を用いて収集し、および／またはそれが表面上に堆積することを可能にし、それから、それが持続的または周期的に収集されるステップを含む。

30

【0258】

いくつかの実施形態によると、方法は、沈殿物と異なる副産物を生産する。例えば、いくつかの実施形態において、方法は、固体水酸化カルシウムおよび／または固体酸化カルシウムと異なる副産物を生産する。いくつかの実施形態において、副産物は、 $\text{CO}_2$ 、 $\text{O}_2$ 、および／または $\text{H}_2$ を備えている。例えば、いくつかの実施形態において、加水分解が、反応器内で実施され、カソードにおいて生じる反応が、2個の $\text{H}_2\text{O}$ 分子および2個の電子を $\text{H}_2$ （ガス）および $2\text{OH}^-$ に変換する一方、アノードにおいて生じる反応は、2個の $\text{H}_2\text{O}$ 分子を $\text{O}_2$ （ガス）、4個の電子、および4個の陽子に変換する。ある実施形態において、化学化合物（例えば、金属塩）（例えば、炭酸カルシウム等の金属炭酸塩）が、第1の領域（例えば、酸性領域）に添加され、化学化合物（例えば、金属塩）（例えば、炭酸カルシウム等の金属炭酸塩）が、溶解させられ、1つ以上の元素（例えば、金属）を形成するように、第1の領域（例えば、酸性領域）内の陽子と反応する。いくつかの実施形態において、 $\text{CaCO}_3$ と2個の陽子との間の正味反応は、 $\text{H}_2\text{O}$ 、 $\text{Ca}^{2+}$ 、および $\text{CO}_2$ （ガス）の形成をもたらす。

40

【0259】

ある実施形態によると、方法は、副産物を収集することをさらに含む。例えば、いくつ

50

かの実施形態において、副産物は、 $\text{CO}_2$ 、 $\text{O}_2$ 、および $\text{H}_2$ を備えている。ある実施形態において、副産物を収集することは、 $\text{CO}_2$ 、 $\text{O}_2$ 、および $\text{H}_2$ の各々を収集すること、 $\text{CO}_2$ のみを収集すること、 $\text{O}_2$ のみを収集すること、 $\text{H}_2$ のみを収集すること、 $\text{CO}_2$ および $\text{O}_2$ を収集すること、 $\text{CO}_2$ および $\text{H}_2$ を収集すること、または $\text{O}_2$ および $\text{H}_2$ を収集することを含む。例えば、ある実施形態において、副産物は、 $\text{CO}_2$ を備え、副産物を収集することは、 $\text{CO}_2$ を隔離することを含む。

#### 【0260】

いくつかの実施形態による副産物は、燃料として使用される。いくつかの実施形態において、 $\text{H}_2$ が、燃料として使用されることができる。非限定的例は、 $\text{H}_2$ を直接燃焼させること、またはそれを天然ガス等の燃料とともに使用することを含む。いくつかの実施形態において、 $\text{O}_2$ および $\text{CO}_2$ が、化石燃料等の燃料の燃焼を支援するために使用される。いくつかの実施形態において、副産物が、窯のための燃料として使用される。例えば、いくつかの実施形態において、 $\text{O}_2$ および $\text{CO}_2$ が、窯の中に給送され、化石燃料等の燃料の燃焼を支援する。ある実施形態において、 $\text{H}_2$ 、 $\text{O}_2$ 、および $\text{CO}_2$ が、固体酸化物形燃料電池等の燃料電池内で反応させられる。ある実施形態において、 $\text{H}_2$ および $\text{O}_2$ が、燃料電池内で反応させられ、電力を生産する。

#### 【0261】

いくつかの実施形態によると、本明細書に説明される反応器、システム、および方法は、1つ以上の有益な特性を示し、1つ以上の用途を有する。例えば、本明細書に説明される反応器、システム、および方法のいくつかの実施形態は、セメント（例えば、ポルトランドセメント）を生産するために使用され得る。例えば、いくつかの実施形態において、反応器は、従来のセメント生産プロセスにおけるか焼の代わりに使用される。

#### 【0262】

さらに、本明細書に説明される反応器、システム、および方法のある実施形態は、従来のセメント生産プロセスより低減させられた大気汚染物質または $\text{CO}_2$ 等の温室効果ガスの生産を伴って、セメントを生産するために使用され得る。従来のセメント生産プロセスは、熱手段による $\text{CaCO}_3$ のか焼を含み、熱手段による $\text{CaCO}_3$ のか焼は、 $\text{CO}_2$ 排出物の約60%を占める一方、 $\text{CO}_2$ 排出物の約40%は、か焼および焼結プロセスを行うための化石燃料の燃焼から生じる。

#### 【0263】

いくつかの実施形態において、本明細書に説明される方法、反応器、および／またはシステムによって生産される $\text{Ca}(\text{OH})_2$ は、 $\text{CaCO}_3$ から $\text{CaO}$ への従来のか焼の代わりに、セメントを作製するための $\text{CaO}$ を生産するために使用されることができる。 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ から $\text{CaO}$ への熱脱水は、 $\text{CaCO}_3$ から $\text{CaO}$ への熱か焼（ $97.0 \text{ kJ/mol}$ ）より25%低い最小エネルギー要件（ $71.2 \text{ kJ/mol}$ ）を有する。

#### 【0264】

ある実施形態によると、反応器および／またはシステムは、部分的または完全に、再生可能電気（例えば、太陽熱エネルギー、風力エネルギー、および／または水力発電）によって給電される。

#### 【0265】

ある実施形態によると、 $\text{CO}_2$ 、 $\text{H}_2$ 、および／または $\text{O}_2$ 等の副産物が、発生させられ、それらは、酸素燃焼、改良された窯効率、低減させられた $\text{NO}_x$ 排出物のため、および／または炭素捕捉および隔離（ $\text{CCS}$ ）のために好適な燃焼排ガスとしてを含む多くの可能な用途を有する。したがって、いくつかの実施形態において、副産物は、販売または使用され得る。

#### 【0266】

一実施形態において、電解駆動式化学反応器は、水の電解のための電解槽を備えている。いくつかの実施形態において、そのような槽は、電解を実施すると、水素発生反応（ $\text{HER}$ ）が生じ、 $\text{OH}^-$ を生産するカソードにおいて高 $\text{pH}$ を生産し、酸素発生反応（ $\text{OER}$ ）が生じ、 $\text{H}^+$ を生産するアノードにおいて低 $\text{pH}$ を生産する。 $\text{pH}$ における勾配が、

10

20

30

40

50

したがって、ある実施形態によると、カソードとアノードとの間に生産される。他のそのような電解槽では、他の種における勾配が、電解反応の本質に応じて生産され得る。

【0267】

一実施形態において、該pH勾配は、金属炭酸塩をアノードの近傍における低pHで溶解させ、金属イオンがカソードにおけるより高いpH環境に向かって拡散するにつれて、金属水酸化物を沈殿させるために使用される。いくつかのそのような実施形態において、金属炭酸塩が、アノードの近くで溶解させられるにつれて、CO<sub>2</sub>ガスが、生産され、炭酸塩の金属カチオンが、溶液中で生産される。これらは、次いで、いくつかのそのような実施形態によると、拡散し、または、随意に、対流または流動によって、カソードにおけるHERによって生産される高pH環境に向かって移送される。いくつかの実施形態によると、金属イオンとカソードにおいて生産されるOH<sup>-</sup>イオンとの反応は、金属水酸化物の沈殿をもたらす。電気化学および化学反応が、各電極において生じ、いくつかの実施形態によると、全体的反応が生じる。ほぼあらゆる金属炭酸塩または金属炭酸塩の混合物は、そのようなプロセスを通して、その水酸化物または水酸化物に変換され得、金属炭酸塩の非限定的例は、CaCO<sub>3</sub>、MgCO<sub>3</sub>、およびNiCO<sub>3</sub>を含む。いくつかのそのような実施形態において、開始金属炭酸塩からの金属水酸化物の生産と同時に、水素ガスが、カソードにおいて放出され、酸素ガスと二酸化炭素ガスとの混合物が、アノードにおいて放出される。

10

【0268】

1つ以上の実施形態において、反応器は、バッチ様式で動作させられ、それによって、生成物である金属水酸化物が、周期的に、収集される。1つ以上の実施形態において、反応器は、追加の金属炭酸塩が、持続的または周期的に、アノードにおいて添加され、沈殿させられた金属水酸化物が、持続的または周期的に、反応ゾーンから除去されるように、持続様式で動作させられる。例えば、沈殿させられた金属水酸化物は、流動流を使用して、反応ゾーンから除去され、収集され得るか、または、沈殿物は、表面上に堆積することを可能にされ得、沈殿物は、反応器が動作し続ける間、表面から、持続的または周期的に、除去される。

20

【0269】

いくつかの実施形態において、電気化学反応器によって生産される水素および／または酸素ガスは、有益なこととして、使用または販売される。いくつかの実施形態において、水素および酸素は、燃料電池内で反応させられ、電力を生産する。いくつかの実施形態において、水素は、反応器または窯または溶鉱炉を加熱する目的のために、燃料として、または燃料の成分として燃焼される。

30

【0270】

いくつかの実施形態において、該電解駆動式化学反応器を動かすための電力は、限定ではないが、太陽熱エネルギー、風力エネルギー、または水力発電を含む再生可能リソースから生産される。

【0271】

一実施形態において、該電気化学的駆動式化学反応器は、CaCO<sub>3</sub>から脱炭素化し、Ca(OH)<sub>2</sub>をポルトランドセメント等のセメントの生産のための前駆体として生産するために使用される。総エネルギー消費を比較することと、消費されたエネルギーの形態およびその炭素強度を検討することとの両方を行うことが、有用である。簡単にするために、CaOとアルミノケイ酸塩および他の成分を反応させ、ポルトランドセメントを形成する高温熱処理は、2つのプロセスに関して同じであると仮定される。CaCO<sub>3</sub>の熱か焼によって生産されたCaOをもたらすことと、電気化学脱炭素化と、その後のCa(OH)<sub>2</sub>の熱脱水によってCaOをもたらすこととのエネルギー消費が、900℃の同じ開始温度に対して、検討された。反応物または生成物を所与の温度まで加熱するためのエネルギー／モル入力が、その熱容量から計算された。分解反応を行うためのエネルギー／モルは、反応の標準的自由エネルギーとして与えられた（すなわち、ガス部分圧は、1 atmである）。

40

50

## 【0272】

この例では、 $\text{CaCO}_3$ の熱か焼のためのエネルギー／モルを $\text{Ca}(\text{OH})_2$ の熱脱水のためのそれと比較すると、後者は、 $97.0 \text{ kJ} / \text{mol}$ に対して、 $72.1 \text{ kJ} / \text{mol}$ の25%低い最小エネルギー要件を有する。この例では、電気化学プロセスは、脱炭素化反応も含み、脱炭素化反応において、 $\text{CaCO}_3$ は、 $74.3 \text{ kJ} / \text{mol}$ の標準的自由エネルギーを伴って $\text{Ca}(\text{OH})_2$ に変換される；これは、電気化学プロセスのための追加のエネルギー消費である。しかしながら、この例示的プロセスおよび電解反応は、電気のほぼゼロ限界コストにおいて、低またはゼロ炭素再生可能リソースからの電気によって給電されることができる。

## 【0273】

反応器を動作させるために必要な電解反応は、この例示的プロセスでは、 $237.1 \text{ kJ} / \text{mol}$ を要求する。しかしながら、このエネルギーは、第1に、低炭素源によって発生させられ、第2に、水素および酸素をもたらし、それらは、付加価値生成物として遠隔で使用され得るか、または、例えば、燃料電池を使用し、電力を提供することによって、または反応熱を提供するための燃焼プロセスを通して、セメント生産プロセスに給電するために使用されることができる。生産されるエネルギーは、電気分解装置を動作させるために、または高温窯を加熱するために使用され得る。

## 【0274】

いくつかの実施形態において、本明細書で生産される（例えば、沈殿反応から）、消石灰としても知られる水酸化カルシウム、および／または、水と反応させられ、消石灰を生産する酸化カルシウムが、限定ではないが、製紙、燃焼排ガス処理における炭素捕捉、石膏の混合および組積造（ボゾランセメントを含む）、土壌安定化、pH調節、水処理、廃棄物処理、および砂糖の精製を含む用途において使用されることができる。以下は、水酸化カルシウム（消石灰としても知られる）および／または酸化カルシウム（石灰としても知られる）の使用の非限定的例である。

## (1. 冶金用途)

## a) 鉄金属

## 【0275】

いくつかの実施形態において、本明細書に開示される反応器、システム、および／または方法によって生産される消石灰および／または石灰が、鉄および／または鋼鉄の作製において使用される。例えば、鉄および／または鋼鉄の作製において、石灰が、鉄および／または鋼鉄が酸化することを防止するスラグを形成し、シリカ、リン酸、マンガン、および硫黄等の不純物を除去するための融剤として使用されることができる。ある場合、消石灰（乾燥状態またはスラリーとして）は、ワイヤまたはロッドをダイを通して絞り加工するための潤滑剤として、粘着を防止するための鑄造金型上のコーティングとして、および／または、腐食を防止するための鋼鉄生成物上のコーティングとして、鉄および／または鋼鉄の作製において使用される。いくつかの事例では、石灰または消石灰は、酸性廃棄物を中和するためにも使用される。

## b) 非鉄金属

## 【0276】

いくつかの実施形態において、本明細書に開示される反応器、システム、および／または方法によって生産される消石灰および／または石灰が、限定ではないが、銅、水銀、銀、金、亜鉛、ニッケル、鉛、アルミニウム、ウラン、マグネシウム、および／またはカルシウムを含む、非鉄金属の作製において使用される。石灰が、ある場合、融剤として使用され、不純物（シリカ、アルミナ、リン酸、炭酸、硫黄、硫酸塩等）を鉱石から除去し得る。例えば、石灰および消石灰が、非鉄鉱石の浮選または回収において使用されることができる。ある場合、石灰は、沈降補助剤としての機能を果たし、適切なアルカリ性を維持し、および／または不純物（硫黄および／またはシリコン等）を除去する。いくつかの事例では、銅、亜鉛、鉛、および／または他の非鉄鉱石の製錬および精製において、消石灰が、硫黄ガスを中和し、および／または硫酸の形成を防止するために使用される。ある事

10

20

30

40

50

例では、石灰および／または消石灰がまた、金属上のコーティングとして使用され、硫黄種との反応を防止する。ある場合、アルミニウムの生産において、石灰および／または消石灰が、不純物（シリカおよび／または炭酸等）をボーキサイト鉱石から除去するために使用され、および／または、pHを調整するために使用される。いくつかの事例では、石灰が、シアン化物抽出における金、銀、および／またはニッケルの溶解のためのアルカリpHを維持するために使用される。亜鉛の生産では、石灰が、ある場合、還元剤として使用される。ある場合、金属カルシウムおよび／またはマグネシウムの生産では、マグネシウムおよび／または酸化カルシウムが、高温で還元され、マグネシウムおよび／またはカルシウム金属を形成する。

## (2. 建設)

### a) 組積造（ポルトランドセメント以外）

#### 【0277】

いくつかの実施形態において、本明細書に開示される反応器、システム、および／または方法によって生産される消石灰および／または石灰が、組積造モルタル、石膏、スタッコ、ホワイトウォッシュ、グラウト、煉瓦、ボード、および／または非ポルトランドセメントを作製するために使用される。これらの用途において、ある実施形態において、石灰および／または消石灰が、他の添加剤と混合され、二酸化炭素にさらされ、炭酸カルシウムを生産し得、石灰および／または消石灰が、他の添加剤（アルミノケイ酸塩等）と反応させられ、セメント質材料を形成し得、および／または、石灰および／または消石灰が、カルシウム源として使用され得る。モルタル、石膏、スタッコ、およびホワイトウォッシュの事例では、ある場合、石灰および／または消石灰が、添加剤および／または骨材（砂等）と混合され、水が蒸発するにつれて、かつ石灰および／または消石灰が大気中の二酸化炭素と反応し、炭酸カルシウムを形成するにつれて、硬化するペースト／スラリーを形成する。水硬性ポゾランセメントの場合、ある場合、石灰および／または消石灰が、アルミン酸塩、ケイ酸塩、および／または他のポゾラン材料（例えば、粉碎された燃料灰、火山灰、高炉スラグ、および／または焼かれた粘土）と反応させられ、不溶性カルシウムアルミノケイ酸塩が形成されるにつれて、硬化する、水ベースのペースト／スラリーを形成する。他の水硬性セメントの場合、いくつかの事例では、石灰および／または消石灰が、ケイ酸二カルシウム、アルミン酸カルシウム、ケイ酸三カルシウム、および／またはケイ酸一カルシウムを含むセメント質化合物が、形成されるように、高温で、シリカ、アルミナ、および／または他の添加剤源と反応させられる。ある場合、砂石灰煉瓦が、ケイ酸カルシウムおよび／またはケイ酸カルシウム水和物を形成するために要求される温度で、消石灰をシリカ（例えば、砂、砕かれたケイ石、および／またはフリント）および／または他の添加剤源と反応させることによって、作製される。ある場合、軽量コンクリート（例えば、エアクリート）が、石灰および／または消石灰を反応性シリカ、アルミニウム粉末、水、および／または他の添加剤と反応させることによって作製され；消石灰とケイ酸塩／アルミン酸塩との間の反応は、ケイ酸カルシウム／アルミン酸塩および／またはケイ酸カルシウム水和物を生じさせる一方、水と、消石灰と、アルミニウムとの間の反応は、水素泡を硬化ペースト内に生じさせる。ホワイトウォッシュは、消石灰の懸濁液から作製される白色コーティングであり、それは、消石灰が大気からの二酸化炭素と反応するにつれて、硬化および固化する。ケイ酸カルシウムボード、コンクリート、および他の鑄造ケイ酸カルシウム生成物が、ある場合、ケイ酸カルシウム形成材料（例えば、石灰、消石灰、シリカ、および／またはセメント）と、添加剤（例えば、セルローズファイバおよび／または難燃剤）と、水とが、一緒に混合され、ある形状に鑄造または圧入されると、形成される。ある場合、高温が、石灰、消石灰、および／またはシリカを反応させるために、および／または、セメントを水和させるために使用される。

### b) 土壌安定化

#### 【0278】

いくつかの実施形態において、本明細書に開示される反応器、システム、および／または方法によって生産される消石灰および／または石灰が、土壌を安定にするために、硬化

10

20

30

40

50

させるために、および／または乾燥させるために使用される。例えば、石灰および／または消石灰が、道路、滑走路、および／または鉄道線路の建設の前、緩いまたは微細な粒塊状の土壌に適用され得、および／または、盛土および／または斜面を安定させるために適用され得る。ある場合、石灰が、粘土土壌に適用されると、ポゾラン反応が、粘土と石灰との間で生じ、ケイ酸カルシウム水和物および／またはアルミン酸カルシウム水和物を生産し得、それは、土壌を強化および／または硬化させる。ある事例では、土壌に適用される石灰および／または消石灰が、二酸化炭素と反応し、固体炭酸カルシウムも生産し得、それも、土壌を強化および／または硬化させ得る。ある場合、石灰が、石灰が水と容易に反応し、消石灰を形成するので、建設用敷地における湿潤土壌を乾燥させるためにも使用され得る。

10

c) アスファルト添加剤およびアスファルトリサイクル

【0279】

いくつかの実施形態において、本明細書に開示される反応器、システム、および／または方法によって生産される消石灰および／または石灰が、アスファルトを作製および／またはリサイクルために使用される。例えば、ある場合、消石灰が、高温混合アスファルトに鉱物充填材および／または酸化防止剤として、および／または水ストリッピングに対する抵抗を増加させるために添加される。ある事例では、消石灰が、アルミノケイ酸塩および／または二酸化炭素と反応し、アスファルトにおける結合剤と骨材との間の接合を改良する、固体生成物を生成することができる。鉱物充填材として、いくつかの事例では、石灰が、結合剤の粘度、アスファルトの剛性、アスファルトの引張強度、および／またはアスファルトの圧縮強度を増加させ得る。水硬性道路結合剤として、ある場合、石灰が、湿気感度および／またはストリッピングを低減させ、それが轍掘れに抵抗するように結合剤を補剛し、および／または、低温での破砕に対する靱性および／または抵抗を改良し得る。いくつかの事例では、リサイクルされるアスファルトに添加される石灰および／または消石灰が、湿気損傷に対するより優れた初期強度および／または抵抗をもたらす。

20

(3. 廃棄物処理、水処理、ガス処理)

a) ガス処理

【0280】

いくつかの実施形態において、本明細書に開示される反応器、システム、および／または方法によって生産される消石灰および／または石灰が、ガス混合物（例えば、燃焼排ガス、大気空気、貯蔵室内の空気、および／または潜水艦等の閉鎖された呼吸環境内の空気）からの酸性ガス（塩化水素、二酸化硫黄、三酸化硫黄、および／またはフッ化水素等）および／または二酸化炭素の除去のために使用される。例えば、ある場合、石灰および／または消石灰が、燃焼排ガスにさらされ、石灰および／または消石灰の燃焼排ガスの成分（塩化水素、二酸化硫黄、および／または二酸化炭素を含む、酸性ガス等）との反応を引き起こし、非ガスカルシウム化合物（等塩化カルシウム、亜硫酸カルシウム、および／または炭酸カルシウム）の形成をもたらす。ある実施形態において、消石灰にガスをさらすことは、消石灰溶液および／またはスラリーをガス上に噴霧することによって、および／またはガス流と乾燥石灰および／または消石灰を反応させることによって行われる。ある実施形態において、酸性ガスまたは複数のガスを含むガス流が、最初に、アルカリ金属水酸化物（例えば、水酸化ナトリウムおよび／または水酸化カリウム）の溶液と反応させられ、可溶性中間種（炭酸カリウム等）を形成し、それは、続いて、石灰および／または消石灰と反応させられ、固体カルシウム種（炭酸カルシウム等）を生産し、元のアルカリ金属水酸化物溶液を再生する。いくつかの実施形態において、石灰および／または消石灰の二酸化炭素または炭酸アルカリとの反応から形成される炭酸カルシウムは、石灰および／または消石灰が、再生され得るように、および／または二酸化炭素が、隔離され得るように、本明細書に開示される反応器、システム、および／または方法に戻される。

30

40

b) 非ガス状廃棄物処理

【0281】

いくつかの実施形態において、本明細書に開示される反応器、システム、および／また

50

は方法によって生産される消石灰および／または石灰が、生物学的廃棄物、産業廃棄物、廃水、および／または沈殿物等の廃棄物を処理するために使用される。ある場合、石灰および／または消石灰が、廃棄物に適用され、アルカリ環境を生成し得、それは、酸廃棄物を中和し、病原体を阻止し、ハエまたは齧歯類を遠ざけ、臭いを制御し、浸出を防止し、および／または汚染物質（重金属、クロム、銅、および／または懸濁／溶解させられた固体等）および／またはスケーリングを引き起こす溶解させられたイオン（カルシウムおよび／またはマグネシウムイオン）を安定および／または沈殿させる役割を果たす。ある事例では、石灰が、油性廃棄物から脱水するために使用され得る。ある場合、消石灰が、リン酸、硝酸塩、および／または硫黄化合物等のある種を沈殿させ、および／または浸出を防止するために使用され得る。ある事例では、石灰および／または消石灰が、加水分解に有利に働くアルカリ条件を維持することによって、有機物の分解を加速させるために使用され得る。

10

#### c) 水処理

##### 【0282】

いくつかの実施形態において、本明細書に開示される反応器、システム、および／または方法によって生産される消石灰および／または石灰が、水を処理するために使用される。例えば、石灰および／または消石灰が、ある場合、アルカリ環境を生成するために使用され得、それは、消毒する役割、懸架された／コロイド状材料を除去する役割、硬度を低減させる役割、pHを調節する役割、水硬度に寄与するイオンを沈殿させる役割、溶解させられた金属（鉄、アルミニウム、マンガン、バリウム、カドミウム、クロム、鉛、銅、および／またはニッケル等）を沈殿させる役割、および／または他のイオン（フッ化物、硫酸塩、亜硫酸塩、リン酸塩、および／または硝酸塩等）を沈殿させる役割を果たす。

20

#### (4. 農業および食品)

##### ー 農業

##### 【0283】

いくつかの実施形態において、本明細書に開示される反応器、システム、および／または方法によって生産される消石灰および／または石灰が、農業のために使用される。例えば、石灰および／または消石灰が、ある場合、単独で、または肥料中の添加剤として、使用され、土壌および／または肥料混合物のpHを調節し、最適成長条件を与え、および／または作物収穫率を改良し得る。

30

##### ー 砂糖

##### 【0284】

いくつかの実施形態において、本明細書に開示される反応器、システム、および／または方法によって生産される消石灰および／または石灰が、砂糖を精製するために使用される。例えば、ある場合、石灰および／または消石灰が、未加工糖汁のpHを上昇させ、未加工糖汁中の酵素を破壊し、および／または無機および／または有機種と反応し、沈殿物を形成するために使用される。過剰カルシウムは、ある事例では、二酸化炭素とともに沈殿させられ得る。ある場合、結果として生じる、沈殿させられた炭酸カルシウムは、本明細書に開示される反応器、システム、および／または方法に戻され、消石灰を再生し得る。

40

##### ー 皮革

##### 【0285】

いくつかの実施形態において、本明細書に開示される反応器、システム、および／または方法によって生産される消石灰および／または石灰が、皮革および／または羊皮紙を作製するために使用される。皮革作製プロセスでは、石灰が、ある場合、毛髪および／またはケラチンを皮から除去し、繊維を分割し、および／または脂肪を除去するために使用される。

##### ー 糊、ゼラチン

##### 【0286】

いくつかの実施形態において、本明細書に開示される反応器、システム、および／また

50

は方法によって生産される消石灰および／または石灰が、糊および／またはゼラチンを作製するために使用される。糊および／またはゼラチンを作製するプロセスでは、ある場合、動物の骨および／または皮は、消石灰中に浸し、コラーゲンおよび他のタンパク質を加水分解させ、異なる分子量のタンパク質断片の混合物を形成する。

－乳製品生成物

【0287】

いくつかの実施形態において、本明細書に開示される反応器、システム、および／または方法によって生産される消石灰および／または石灰が、乳製品生成物を作製するために使用される。ある場合、消石灰が、低温殺菌の前、乳脂の酸性度を中和するために使用される。ある場合、消石灰が、カゼイン塩カルシウムをカゼインの酸性溶液から沈殿させるために使用される。いくつかの事例では、消石灰が、発酵させられた脱脂粉乳に添加され、乳酸カルシウムを生産する。

10

－果物産業

【0288】

いくつかの実施形態において、本明細書に開示される反応器、システム、および／または方法によって生産される消石灰および／または石灰が、果物産業において使用される。例えば、消石灰および／または石灰が、ある場合、二酸化炭素を果物貯蔵室内の空気から除去するために使用される。いくつかの事例では、消石灰が、廃棄物クエン酸を中和し、果汁のpHを上昇させるために使用される。

－殺虫剤／殺菌剤

20

【0289】

いくつかの実施形態において、本明細書に開示される反応器、システム、および／または方法によって生産される消石灰および／または石灰が、殺菌剤および／または殺虫剤中の添加剤として使用される。例えば、消石灰が、硫酸銅と混合され、硫酸銅五水和物である駆除剤を形成し得る。ある場合、石灰が炭化するにつれて、それがフィルムを群衆上に形成し、駆除剤を葉上に保持するので、石灰が、他の種類の駆除剤のための担体としても使用され得る。いくつかの事例では、消石灰が、カキ礁上のヒトデの蔓延を制御するために使用される。

－食品添加剤

【0290】

いくつかの実施形態において、本明細書に開示される反応器、システム、および／または方法によって生産される消石灰および／または石灰が、食品添加剤として使用される。ある場合、石灰および／または消石灰が、酸性度調整剤として、酸洗剤として、セルロースを除去する（例えば、トウモロコシ等の穀粒から）ために、および／またはあるアニオン（炭酸塩等）を鹹水から沈殿させるために使用され得る。

30

（5．化学物質）

【0291】

いくつかの実施形態において、本明細書に開示される反応器、システム、および／または方法によって生産される消石灰および／または石灰が、化学物質を作製するために使用される。例えば、石灰および／または消石灰が、とりわけ、カルシウムおよび／またはマグネシウム源、アルカリ、乾燥剤、苛性剤、鹼化剤、接着剤、凝集剤および／または沈殿剤、融剤、ガラス形成生成物、有機物の分解剤、潤滑剤、充填材、および／または加水分解剤として使用され得る。

40

a) 無機カルシウム化合物

－沈殿させられた炭酸カルシウム

【0292】

いくつかの実施形態において、本明細書に開示される反応器、システム、および／または方法によって生産される消石灰および／または石灰が、沈殿させられた炭酸カルシウムを作製するために使用される。いくつかの事例では、消石灰の溶液および／またはスラリーおよび／またはカルシウムイオンの溶液が、炭酸カルシウムおよび／または炭酸マグネ

50

シウムの沈殿物が形成されるように、二酸化炭素および／または炭酸アルカリと反応させられる。ある事例では、沈殿させられたアルカリ金属炭酸塩は、充填材として、収縮を低減させるために、接着力を改良するために、密度を増加させるために、レオロジーを修正するために、および／または、プラスチック（PVCおよびラテックス等）、ゴム、紙、塗料、インク、化粧品、および／または他のコーティングを白くする／明るくするために使用され得る。沈殿させられた炭酸塩、ある場合、火炎遅延剤または粉剤として使用され得る。ある場合、沈殿させられた炭酸カルシウムは、アルカリ化剤として、農業のため、防腐剤、小麦粉添加剤、醸造添加剤、消化補助剤、および／または瀝青生成物のための添加剤、砥粒剤（洗浄剤、洗淨剤、研磨剤、および／または歯磨き粉内の）、駆除剤中の分散剤、および／または乾燥剤として使用され得る。

10

#### 一次亜塩素酸カルシウム

##### 【0293】

いくつかの実施形態において、本明細書に開示される反応器、システム、および／または方法によって生産される消石灰および／または石灰が、塩素を石灰および／または消石灰と反応させることによって、次亜塩素酸カルシウムである漂白剤を作製するために使用される。

#### 炭化カルシウム

##### 【0294】

いくつかの実施形態において、本明細書に開示される反応器、システム、および／または方法によって生産される消石灰および／または石灰が、石灰を炭素質物質（例えば、コークス）と高温で反応させることによって、炭化カルシウムであるアセチレンの前駆体を作製するために使用される。

20

#### リン酸カルシウム

##### 【0295】

いくつかの実施形態において、本明細書に開示される反応器、システム、および／または方法によって生産される消石灰および／または石灰が、リン酸を消石灰および／または水性カルシウムイオンと適切な比率で反応させることによって、リン酸カルシウム（リン酸一カルシウム、リン酸二カルシウム、および／またはリン酸三カルシウム）を作製するために使用される。ある場合、リン酸一カルシウムが、膨張剤入り小麦粉中の添加剤、ミネラル強化食品、乳生成物のための安定剤、および／または飼料添加剤として使用され得る。いくつかの事例では、リン酸二カルシウム二水和物が、歯磨き粉中、弱砥粒剤として、食料品のミネラル強化のために、ペレット化補助剤として、および／または増粘安定剤として、使用される。ある事例では、リン酸三カルシウムが、歯磨き粉中、および／または食料品および／または肥料中の固化防止剤として使用される。

30

#### 臭化カルシウム

##### 【0296】

いくつかの実施形態において、本明細書に開示される反応器、システム、および／または方法によって生産される消石灰および／または石灰が、臭化カルシウムを作製するために使用される。これは、ある場合、石灰および／または消石灰を臭化水素酸および／または臭素および還元剤（例えば、ギ酸および／またはホルムアルデヒド）と反応させることによって行われる。

40

#### ヘキサシアノ鉄酸カルシウム

##### 【0297】

いくつかの実施形態において、本明細書に開示される反応器、システム、および／または方法によって生産される消石灰および／または石灰が、石灰および／または消石灰をシアン化水素と塩化鉄の水溶液中で反応させることによって、ヘキサシアノ鉄酸カルシウムを作製するために使用される。ヘキサシアノ鉄酸カルシウムは、次いで、アルカリ金属塩またはヘキサシアノ鉄酸塩に変換されることができる。これらは、顔料および固化防止剤として使用される。

#### ケイ酸カルシウム

50

## 【0298】

いくつかの実施形態において、本明細書に開示される反応器、システム、および／または方法によって生産される消石灰および／または石灰が、石灰、石英、および／または炭素質材料を高温で反応させることによって、ケイ酸カルシウムを作製するために使用される。ある場合、ケイ酸カルシウムは、脱酸剤として、脱硫剤として、および／または鉄金属中の非金属含有量を修正するために使用される。

－ニクロム酸カルシウム

## 【0299】

いくつかの実施形態において、本明細書に開示される反応器、システム、および／または方法によって生産される消石灰および／または石灰が、クロム鉱石を石灰とともに焙焼することによって、ニクロム酸カルシウムを作製するために使用される。

10

－タングステン酸カルシウム

## 【0300】

いくつかの実施形態において、本明細書に開示される反応器、システム、および／または方法によって生産される消石灰および／または石灰が、レーザ、蛍光灯、および／またはオシロスコープ等のアイテムのためのフェロタングステンおよび／または蛍光体の生産において使用されるために、石灰および／または消石灰をタングステン酸ナトリウムと反応させることによって、タングステン酸カルシウムを作製するために使用される。

b) 有機カルシウム化合物

－クエン酸カルシウム

20

## 【0301】

いくつかの実施形態において、本明細書に開示される反応器、システム、および／または方法によって生産される消石灰および／または石灰が、石灰および／または消石灰をクエン酸と反応させることによって、クエン酸カルシウムを作製するために使用される。ある場合、クエン酸カルシウムは、硫酸と反応させられ、純クエン酸を再生し得る。

－カルシウム石鹸

## 【0302】

いくつかの実施形態において、本明細書に開示される反応器、システム、および／または方法によって生産される消石灰および／または石灰が、消石灰を脂肪酸、ろう酸、不飽和カルボン酸（例えば、オレイン酸、リノレン酸、エチルヘキサン酸）、ナフテン酸、および／または樹脂酸と反応させることによって、カルシウム石鹸を作製するために使用される。ある場合、カルシウム石鹸は、潤滑剤、安定剤、離型剤、防水剤、コーティング、および／または印刷インク中の添加剤として使用される。

30

－乳酸カルシウム

## 【0303】

いくつかの実施形態において、本明細書に開示される反応器、システム、および／または方法によって生産される消石灰および／または石灰が、消石灰を乳酸と反応させることによって、乳酸カルシウムを作製するために使用される。ある事例では、乳酸は、第2のステップにおいて、硫酸と反応させられ、純乳酸を生産し得る。いくつかの事例では、これらの化学物質は、凝固剤および発泡剤としての機能を果たす。ある場合、乳酸カルシウムは、医薬品薬品および／または食料品中のカルシウム源として、および／または緩衝剤として使用される。

40

－酒石酸カルシウム

## 【0304】

いくつかの実施形態において、本明細書に開示される反応器、システム、および／または方法によって生産される消石灰および／または石灰が、消石灰を酒石酸アルカリと反応させることによって、酒石酸カルシウムを作製するために使用される。ある場合、酒石酸カルシウムは、第2のステップにおいて、硫酸と反応させられ、純酒石酸酸を生産し得る。ある事例では、酒石酸酸は、食料品、医薬品調製において、および／または石膏および／または金属研磨剤における添加剤として使用される。

50

## c) 無機化学物質

## －酸化アルミニウム

## 【0305】

いくつかの実施形態において、本明細書に開示される反応器、システム、および／または方法によって生産される消石灰および／または石灰が、酸化アルミニウムを作製するために使用される。石灰が、酸化アルミニウムの調製において、不純物（例えば、ケイ酸塩、炭酸、および／またはリン酸）を処理されたボーキサイト鉱石から沈殿させるために使用される。

## －炭酸および重炭酸アルカリ

## 【0306】

いくつかの実施形態において、本明細書に開示される反応器、システム、および／または方法によって生産される消石灰および／または石灰が、アンモニアソーダプロセスにおいて、炭酸および／または重炭酸アルカリを塩化アルカリから作製するために使用される。このプロセスでは、ある場合、石灰および／または消石灰が、アンモニア（および／またはアミン）の塩化アルカリとの反応後、塩化アンモニウム（および／または塩化イソプロピルアンモニウム等の塩化アンモニウム）と反応させられ、アンモニア（および／またはイソプロピルアミン等のアミン）を再生する。ある場合、結果として生じる塩化カルシウムは、本明細書に開示される反応器、システム、および／または方法からのアルカリ流と反応させられ、消石灰を再生することができる。

## －炭酸ストロンチウム

## 【0307】

いくつかの実施形態において、本明細書に開示される反応器、システム、および／または方法によって生産される消石灰および／または石灰が、炭酸ストロンチウムを作製するために使用される。いくつかの事例では、石灰および／または消石灰が、アンモニアが炭化され、硫酸ストロンチウムと反応させられた後に生じる硫酸アンモニウムから、アンモニアを再生させるために使用される。

## －ジルコン酸カルシウム

## 【0308】

いくつかの実施形態において、本明細書に開示される反応器、システム、および／または方法によって生産される消石灰および／または石灰が、ジルコン酸カルシウムを作製するために使用される。ある場合、石灰および／または消石灰が、ジルコンである、 $ZrSiO_4$ と反応し、ケイ酸およびジルコン酸カルシウムを生産し、それは、さらに精製される。

## －水酸化アルカリ

## 【0309】

いくつかの実施形態において、本明細書に開示される反応器、システム、および／または方法によって生産される消石灰および／または石灰が、多くの場合、苛性化または再苛性化と呼ばれる、プロセスにおいて、水酸化アルカリを炭酸アルカリから作製するために使用される。ある場合、消石灰が、炭酸アルカリと反応させられ、水酸化アルカリおよび炭酸カルシウムを生産する。苛性化炭酸アルカリのプロセスは、いくつかの事例では、ボーキサイト鉱石の精製、石炭酸油の処理、およびクラフト液サイクル（炭酸ナトリウムを含む「緑液」が消石灰と反応し、水酸化ナトリウムを含む「白液」を形成する）を含む、いくつかの他のプロセスの特徴である。

## －水酸化マグネシウム

## 【0310】

いくつかの実施形態において、本明細書に開示される反応器、システム、および／または方法によって生産される消石灰および／または石灰が、水酸化マグネシウムを作製するために使用される。ある場合、マグネシウムイオン（例えば、海水および／または鹹水溶液）を含む溶液への消石灰の添加は、水酸化マグネシウムを溶液から沈殿させる。

## d) 有機化学物質

10

20

30

40

50

## 【0311】

－酸化アルケン

## 【0312】

いくつかの実施形態において、本明細書に開示される反応器、システム、および／または方法によって生産される消石灰および／または石灰が、酸化アルケンを作製するために使用される。いくつかの事例では、石灰が、プロピレンおよび／またはブテンクロロヒドリンを酸化または脱塩化水素化し、対応する酸化物を生産するために使用される。酸化物は、次いで、いくつかの事例では、酸性加水分解によって、グリコールに変換され得る。

## 【0313】

－ジアセトンアルコール

10

## 【0314】

いくつかの実施形態において、本明細書に開示される反応器、システム、および／または方法によって生産される消石灰および／または石灰が、ジアセトンアルコールを作製するために使用される。ある場合、消石灰が、アルカリ触媒として使用され、アセトンの自己縮合を促進し、ジアセトンアルコールを形成し、それは、樹脂のための溶媒として、および／または酸化メシチル、メチルイソブチルケトン、および／またはヘキシレングリコールの生産における中間体におけるものとして使用される。

## 【0315】

－ヒドロキシピバル酸ネオペンチルグリコールエステル、ペンタエリトリール

## 【0316】

20

いくつかの実施形態において、本明細書に開示される反応器、システム、および／または方法によって生産される消石灰および／または石灰が、ヒドロキシピバル酸ネオペンチルグリコールエステルおよび／またはペンタエリトリールを作製するための塩基性触媒として使用される。

## 【0317】

－アントラキノ色素および中間体

## 【0318】

いくつかの実施形態において、本明細書に開示される反応器、システム、および／または方法によって生産される消石灰および／または石灰が、アントラキノ色素および／または中間体の作製において、スルホン酸基を水酸化物と置換するための塩基性試薬として使用される。

30

－トリクロロエチレン

## 【0319】

いくつかの実施形態において、本明細書に開示される反応器、システム、および／または方法によって生産される消石灰および／または石灰が、塩素をテトラクロロエタンから除去し、トリクロロエチレンを形成するために使用される。

(6. 多岐にわたる用途)

## 【0320】

－シリカ、炭化ケイ素、およびジルコニア耐火物

## 【0321】

40

いくつかの実施形態において、本明細書に開示される反応器、システム、および／または方法によって生産される消石灰および／または石灰が、シリカ、炭化ケイ素、および／またはジルコニア耐火物の製作において、結合剤、接合剤、および／または安定化剤として使用される。

## 【0322】

－石灰ガラス

## 【0323】

いくつかの実施形態において、本明細書に開示される反応器、システム、および／または方法によって生産される消石灰および／または石灰が、ソーダ石灰ガラスの製作において、石灰源として使用される。いくつかの事例では、石灰および／または消石灰が、シリ

50

カ、炭酸ナトリウム、および／またはアルミナおよび／または酸化マグネシウム等の添加剤を含む他の原材料とともに、高温に加熱される。いくつかの事例では、熔融混合物が、冷却に応じて、ガラスを形成する。

【0324】

－白陶器およびガラス質エナメル

【0325】

いくつかの実施形態において、本明細書に開示される反応器、システム、および／または方法によって生産される消石灰および／または石灰が、白陶器および／またはガラス質エナメルを作製するために使用される。ある場合、消石灰が、粘土と混成され、融剤、ガラス形成体としての機能を果たし、材料を結合し、および／または最終生成物の白度を増加させることに役立つ。

10

【0326】

－鑄造および絞り加工のための潤滑剤

【0327】

いくつかの実施形態において、本明細書に開示される反応器、システム、および／または方法によって生産される消石灰および／または石灰が、材料（鉄、アルミニウム、銅、鋼鉄、および／または貴金属等）の鑄造および／または絞り加工のための潤滑剤として使用される。いくつかの事例では、カルシウムベースの潤滑剤が、高温で使用され、金属が金型に粘着することを防止することができる。ある場合、潤滑剤は、カルシウム石鹸である、石灰と他の材料（ケイ酸、アルミナ、炭素、および／または螢石および／または酸化アルカリ等の融剤を含む）の混成であることができる。消石灰が、ある場合、潤滑剤担体として使用される。ある事例では、消石灰が、ワイヤの表面に接合し、表面粗度を増加させ、および／または絞り加工の接着力を改良する。

20

【0328】

－掘削泥

【0329】

いくつかの実施形態において、本明細書に開示される反応器、システム、および／または方法によって生産される消石灰および／または石灰が、掘削泥調合物において、高アルカリ性を維持し、および／または粘土を非塑性状態に保つために使用される。掘削泥は、ある場合、油およびガスのために、岩石を通して掘削するとき、中空ドリル管を通して圧送され得る。ある事例では、掘削泥は、ドリルビットによって生産される岩石の断片を地表まで搬送する。

30

【0330】

－油添加剤および潤滑グリース

【0331】

いくつかの実施形態において、本明細書に開示される反応器、システム、および／または方法によって生産される消石灰および／または石灰が、油添加剤および／または潤滑グリースとして使用される。いくつかの事例では、石灰が、石炭酸アルキルおよび／または有機スルホン酸塩と反応させられ、カルシウム石鹸を作製し、それは、他の添加剤と混成され、油添加剤および／または潤滑グリースを作製する。ある場合、石灰ベースの添加剤は、沈殿物蓄積を防止し、特に、高温における燃焼の生成物から酸性度を低減させる。

40

－パルプおよび紙

【0332】

いくつかの実施形態において、本明細書に開示される反応器、システム、および／または方法によって生産される消石灰および／または石灰が、パルプおよび／または紙産業において使用される。例えば、消石灰が、クラフトプロセスにおいて使用され、炭酸ナトリウムを水酸化ナトリウムに再苛性化する。ある場合、この反応から形成される炭酸カルシウムは、本明細書に開示される反応器、システム、および／または方法に戻され、消石灰を再生することができる。ある事例では、消石灰が、パルプ化の亜硫酸塩プロセスにおいて、アルカリソースとしても使用され、液を調製することができる。ある場合、消石灰が

50

、硫黄酸の溶液に添加され、亜硫酸水素塩を形成する。硫黄酸と亜硫酸水素塩の混合物が、ある場合、パルプを消化するために使用される。消石灰が、ある事例では、リグノスルホン酸カルシウムを使用済み亜硫酸塩液から沈殿させるために使用されることもできる。

－養魚槽

【0333】

いくつかの実施形態において、本明細書に開示される反応器、システム、および／または方法によって生産される消石灰および／または石灰が、海洋養魚槽および／またはサンゴ礁成長のためのカルシウムおよび／またはアルカリソースとして使用される。

－熱を蓄熱する方法

【0334】

いくつかの実施形態において、本明細書に開示される反応器、システム、および／または方法によって生産される消石灰および／または石灰が、熱化学エネルギー貯蔵のために使用される（例えば、自己発熱食品コンテナおよび／または太陽熱蓄熱のため）。

－難燃剤

【0335】

いくつかの実施形態において、本明細書に開示される反応器、システム、および／または方法によって生産されるカルシウムおよび／または水酸化マグネシウムが、難燃剤、ケーブル絶縁体への添加剤、および／またはプラスチックの絶縁体として使用される。

－抗菌薬品

【0336】

いくつかの実施形態において、本明細書に開示される反応器、システム、および／または方法によって生産される消石灰および／または石灰が、抗菌薬品として使用される。例えば、いくつかの事例では、石灰および／または消石灰が、壁、床、寝具、および／または動物舎等の疾患汚染エリアを処理するために使用される。

【0337】

いくつかの実施形態において、本明細書に説明される方法および／またはシステムは、物質の増加させられた純度、物質の増加させられた豊富、低減させられた廃棄物（例えば、埋立処理地に到達する物質の低減させられた量）、および／または低減させられたコスト（例えば、物質をリサイクルすることによって）等、1つ以上の利点を有する。

【0338】

ある実施形態において、本明細書に説明される方法および／またはシステムは、耐火性材料、加熱要素、セラミック、薬、制酸剤、添加剤、固化防止剤、ドーブ剤、顔料、肥料を作製するために使用されることができ、および／または水処理のために使用されることができる。

【0339】

いくつかの実施形態において、方法は、カルシウムの少なくとも一部が、溶解させられ、追加の非可溶化された種の少なくとも一部が、非可溶化されたままであるように、非可溶化されたカルシウム、非可溶化された炭酸、および少なくとも1つの追加の非可溶化された種を備えている初期固体を酸にさらすことと、溶解させられたカルシウムの少なくとも一部が、沈殿させられ、カルシウムを含み、初期固体より少ない追加の非可溶化された種を含む沈殿させられた固体を形成するように、溶解させられたカルシウムを塩基にさらすこととを含む。いくつかのそのような実施形態において、酸および／または塩基は、反応器内で生産される。いくつかのそのような実施形態において、初期固体は、石灰石、石灰、ドロマイト、灰、および／または廃棄物流を備えている。いくつかのそのような実施形態において、沈殿させられた固体は、水酸化カルシウム、酸化カルシウム、水酸化マグネシウム、および／または酸化マグネシウムを備えている。

【0340】

ある実施形態において、方法は、マグネシウムの少なくとも一部が、溶解させられ、非可溶化された追加の種の少なくとも一部が、非可溶化されたままであるように、非可溶化されたカルシウム、非可溶化されたマグネシウム、非可溶化された炭酸、および少なくと

10

20

30

40

50

も1つの追加の非可溶化された種を備えている初期固体を酸にさらすことと、溶解させられたマグネシウムの少なくとも一部が、沈殿させられ、水酸化マグネシウムおよび／または酸化マグネシウムを含み、初期固体より少ない追加の非可溶化された種を含む沈殿させられた固体を形成するように、溶解させられたマグネシウムを塩基にさらすこととを含む。いくつかのそのような実施形態において、酸および／または塩基は、反応器内で生産される。いくつかのそのような実施形態において、初期固体は、ドロマイトを備えている。

#### 【0341】

いくつかの実施形態によると、ある成分を含む物質（例えば、石灰石、石灰、ドロマイト、灰、および／または廃棄物流）を処理するためのシステムAは、液体溶媒流を提供する反応器（例えば、電気化学反応器、塩素アルカリ反応器、および／または非電解反応器（例えば、酸バーナ））と、物質を液体溶媒流と接触して設置するための容器とを備えている。システムAのいくつかの実施形態において、液体溶媒流は、酸性である。システムAのある実施形態において、液体溶媒流は、塩基性である。システムAのいくつかの実施形態によると、成分は、選択的に、組み合わせられた物質および液体溶媒流から沈殿させられるか、または、それによって溶解させられる。

#### 【0342】

システムAのいくつかの実施形態によると、反応器は、電気化学反応器を備えている。いくつかのそのような実施形態において、電気化学反応器は、酸流を酸素発生カソードにおいて、アルカリ流を水素発生アノードにおいて生産する中性水電解槽を備えている。いくつかのそのような実施形態において、電解槽は、酸流を方向づけ、物質（例えば、灰）中に存在する金属塩（例えば、カルシウム塩）、金属酸化物、ケイ酸塩、および／または金属合金を選択的に溶解させるように構成され、および／または、アルカリ流を方向づけ、アルカリ土類金属水酸化物、遷移金属水酸化物、アルカリ土類金属酸化物、遷移金属酸化物、元素金属、および／または水和された石灰を沈殿させるために使用されるように構成されている。

#### 【0343】

システムAのいくつかの実施形態によると、反応器は、塩素アルカリ反応器および／または非電解反応器（例えば、酸バーナ）を備えている。いくつかのそのような実施形態において、反応器（例えば、酸バーナ等の非電解反応器）は、酸流を方向づけ、物質（例えば、灰）中に存在する金属塩（例えば、カルシウム塩）、金属酸化物、ケイ酸塩、および／または金属合金を選択的に溶解させるように構成され、および／または、アルカリ流を方向づけ、アルカリ土類金属水酸化物、遷移金属水酸化物、アルカリ土類金属酸化物、遷移金属酸化物、元素金属、および／または水和された石灰を沈殿させるために使用されるように構成されている。

#### 【0344】

ある実施形態において、ある成分を含む物質（例えば、石灰石、石灰、ドロマイト、灰、および／または廃棄物流）を処理するためのプロセスBは、液体溶媒流を生産することと、物質を液体溶媒流と接触して設置することと、成分を組み合わせられた物質および液体溶媒流から抽出することとを含む。プロセスBのいくつかの実施形態において、物質の成分は、液体溶媒流によって選択的に溶解させられる。プロセスBのある実施形態において、成分は、組み合わせられた物質および液体溶媒流から選択的に沈殿させられる。

（実施例1）

#### 【0345】

本実施例は、不純石灰石または石灰窯塵埃から精製され、水和された石灰（ $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ）の生産を説明する。

#### 【0346】

天然石灰石が、酸中、 $\text{pH}0$ で、室温で、かき混ぜ容器内で溶解させられた。酸は、商業的に購入されるか、または、反応器内で生産され得る。天然石灰石（例えば、 $\text{SiO}_2$ 、 $\text{Al}_2\text{O}_3$ 、 $\text{Fe}_2\text{O}_3$ 、および $\text{KMnO}_4$ ）からの多くの不純物が、酸中に不溶性であり、濾過によって除去された。残りの液体は、次いで、2つの方法のうちの1つにおい

10

20

30

40

50

て沈殿させられた。

【0347】

第1の沈殿方法では、残りの液体の100mLが、6.5mL／分の率でゆっくりと、0.2M NaOH (pH13.3)と、氷槽(−1〜5℃)内で、かき混ぜ(450rpm)を用いて反応させられた。これは、Ca(OH)<sub>2</sub>の大結晶の形成をもたらした。

【0348】

第2の沈殿方法では、残りの液体の100mLが、100mL／分の率で迅速に、1M NaOH (pH14)と、ホットプレート(80℃)上で、かき混ぜ(450rpm)を用いて反応させられた。これは、Ca(OH)<sub>2</sub>の小結晶の形成をもたらした。

【0349】

図15Aは、天然石灰石、沈殿させられたCa(OH)<sub>2</sub>、および検出器からの背景のX線蛍光スペクトルを示す。図15Bは、天然石灰石、天然石灰石から除去された不純物、および天然石灰石から取得される精製され、水和された石灰の写真である。沈殿させられたCa(OH)<sub>2</sub>は、天然石灰石(Ca(OH)<sub>2</sub>は、天然石灰石から作製された)より視覚的に白色かつ純粋であった。

【0350】

同じ結果が、石灰窯塵埃を用いて、同じ手順を使用したときに取得された。図16Aは、石灰窯塵埃、沈殿させられたCa(OH)<sub>2</sub>、および検出器からの背景のX線蛍光スペクトルを示す。図16Bは、石灰窯塵埃、石灰窯塵埃から除去された不純物、および天然石灰石から取得される精製され、水和された石灰の写真である。沈殿させられたCa(OH)<sub>2</sub>は、天然石灰石(Ca(OH)<sub>2</sub>は、天然石灰石から作製された)より視覚的に白色かつ純粋であった。

(実施例2)

【0351】

本実施例は、石灰石および／またはドロマイトのその成分への電気化学分離を説明する。

【0352】

石灰石は、主に、炭酸カルシウムから構成される豊富な堆積岩である。一般的石灰石不純物は、ケイ酸塩、アルミン酸塩、フェライト、ナトリウム塩、および炭酸マグネシウムを含む。不純石灰石埋蔵場所は、豊富かつ地理的に分散されているが、大量の高カルシウム石灰石の埋蔵場所は、乏しい。石灰(CaOおよびCa(OH)<sub>2</sub>)を石灰石から作製するために使用される、石灰窯は、構築が高価であり、したがって、大石灰石埋蔵場所と共同設置される。したがって、石灰は、石灰石がほぼあらゆる場所に見出され得るという事実にもかかわらず、粗悪石灰石埋蔵場所を伴う領域では、より高価である。この例は、高純度石灰を不純入力から作製する方法、デバイス、材料、およびシステムを説明する。

【0353】

ドロマイトは、CaMg(CO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>等の炭酸カルシウムマグネシウムから成る、石灰石に関連する岩石である(カルシウムとマグネシウムの比率は、変動する)。石灰石のように、ドロマイトも、石灰窯内でか焼され、ドロマイト石灰を作製する。カルシウム／マグネシウム比は、か焼により変化しない。この例は、Mgをドロマイト石灰から隔離し、Mg(OH)<sub>2</sub>またはMgOを作製する方法、デバイス、材料、およびシステムを説明し、それらは、耐火性材料、加熱要素、セラミック、薬、制酸剤、添加剤、固化防止剤、ドーパント、顔料、肥料を作製するために、または水処理のために使用され得る。

【0354】

この例の一般的方法は、電気化学的性質を使用して、液体溶媒流を生産し、液体溶媒流において、石灰石またはドロマイトの成分が、回収または廃棄のために、選択的に溶解および／または沈殿させられることができる。一側面では、この例は、電解プロセスを使用して、酸および／または塩基を生産し、酸および／または塩基は、続いて、石灰石、ドロマイト、またはカルシウム／マグネシウム含有岩石から有用な元素および化合物を溶解および抽出するために使用される。一実施形態において、酸および／または塩基は、電気化

10

20

30

40

50

学反応器によって生産される。酸および／または塩基を生産する電気化学反応器、および化学溶解および／または沈殿のための該酸および／または塩基を収集するシステムが、2019年3月14日に出願された米国特許出願第米国仮特許出願第62／818,604号、米2019年8月15日に出願された国仮特許出願第62／887,143号、および2020年1月16日に出願された米国仮特許出願第62／962,061号、および2020年3月13日に出願された国際特許出願第PCT／US2020／022672号、および2020年1月16日に出願された国際特許出願第PCT／US2020／01387号（その全てが、参照することによってその全体として組み込まれる）に説明される。

#### 【0355】

故に、ある実施形態において、電解反応器は、電解槽、塩素アルカリ反応器、電気透析ユニット、または少なくとも、酸または塩基を生産する他のそのような電気化学反応器であり得る。いくつかの実施形態において、酸および／または塩基は、反応器によって、水溶液として生産され、該石灰石またはドロマイトの成分を溶解させることにおいて使用するために収集される。いくつかの実施形態において、電気化学反応器は、同時に、酸および塩基を生産する。そのような反応器の例は、中性水電解槽である。他の実施形態において、電気化学反応器は、塩基と、続いて酸に変換され得る化合物とを生産する。そのような反応器の例は、塩素アルカリ反応器であり、それは、NaOH塩基を生産することと同時に、塩素ガスを生産する。塩素ガスは、続いて、「酸バーナ」内の水と反応させられ、塩酸を生産し得る。

#### 【0356】

高カルシウム石灰を不純石灰石またはドロマイトから回収し、任意のマグネシウムまたは他の不純物を隔離する方法の非限定的例として、電気化学反応器によって生産される酸を備えている酸性溶液が、調製される。電気化学反応器によって生産される塩基を備えている塩基性溶液も、調製される。酸性溶液は、カルシウムおよびマグネシウムが少なくとも難溶性であるpHを有するように選択される。石灰石またはドロマイトは、少なくとも金属の所望の割合を溶解させるために十分であるように選定される、酸性溶液の体積と接触させて設置される。石灰石またはドロマイト（例えば、シリカ）中のある不純物は、酸中で可溶性ではなく、これらの不純物は、廃棄または他の用途のために隔離されるであろう。

#### 【0357】

溶解させられた金属を含む溶液は、次いで、溶解させられた金属のある金属水酸化物を沈殿させるために十分に高いように選択されるpHの塩基性溶液と接触させて設置される。例えば、十分な塩基が、マグネシウムイオンを溶液から沈殿させるが、カルシウムイオンを沈殿させないために添加され、水酸化マグネシウムは、別個に隔離および収集されるであろう。残りの溶解させられた金属を含む溶液のpHは、さらに増加させられ、水酸化カルシウムを沈殿させ得、それは、沈殿させられた水酸化マグネシウムから別個に収集され得る。結果として生じる水酸化カルシウムおよび水酸化マグネシウムは、酸中に可溶性ではない不純物と、水酸化物が沈殿させられたものを上回るpHにおいてアルカリ溶液中に可溶性である不純物とがないであろう。

#### 【0358】

1つの具体的例では、中性水電解槽が、L. D. Ellis, A. F. Badel, M. L. Chiang, R. J. -Y. Park, Y. -M. Chiang, "Towards Electrochemical Synthesis of Cement - An Electrolyzer-Based Process for Decarbonating  $\text{CaCO}_3$  While Producing Useful Gas Streams," PNAS, Sep 2019, °201821673; °DOI: 10.1073/pnas.1821673116（参照することによってその全体として本明細書に組み込まれる）によって説明される方法に従って、酸流を酸素発生カソードにおいて、アルカリ流を水素発生アノードにおいて生産するために使用される。電気分解

装置からの酸性溶液は、存在する少なくともあるカルシウム塩を選択的に溶解させるために使用される。電気分解装置からの塩基性溶液は、不溶性不純物を隔離しながら、アルカリ流中に水和された石灰 ( $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ) を精製するために使用される。

【0359】

いくつかの実施形態において、一連の可変 pH の溶液が、順次、それらのそれぞれの可溶性に従って、元素または化合物を石灰石、ドロマイト、またはカルシウム／マグネシウム含有岩石から溶解させるために使用される。他の実施形態において、一連の可変 pH の溶液が、順次、それらの可溶性に従って、元素または化合物を沈殿させるために使用される。非限定的例として、一連の可変 pH の酸性溶液が、石灰石、ドロマイト、またはカルシウム／マグネシウム含有岩石と反応させられ、各 pH は、ある金属または複数の金属を選択的に溶解させるように作用する。続いて、各溶液は、十分に高 pH の塩基性溶液と反応させられ、溶解させられた金属を沈殿させ、それによって、標的金属を濃縮された形態で石灰石、ドロマイト、またはカルシウム／マグネシウム含有岩石から選択的に抽出する。炭酸カルシウムまたは炭酸マグネシウムまたはある他の炭酸が選択的に溶解させられ得る pH、および水酸化カルシウムまたは水酸化マグネシウムまたはある他の金属水酸化物が選択的に沈殿させられ得る pH は、実験的に、または限定ではないが、プールベ図を含む、当業者に利用可能な溶解度データを用いて、決定され得る。

10

【0360】

別の非限定的例として、HCl が塩素アルカリ反応器および酸バーナを使用して生産される 1 M HCl 溶液が、いくつかの金属を、石灰石、ドロマイト、またはカルシウム／マグネシウム含有岩石から同時に溶解させるために使用される。続いて、可変 pH の一連の塩基性溶液が、酸性溶液と反応させられ、順次、異なる金属または金属塩を沈殿させる。金属または金属塩が沈殿する pH は、実験的に、または、限定ではないが、プールベ図を含む、当業者に利用可能な文献を用いて、決定され得る。

20

【0361】

いくつかの実施形態において、物質（例えば、第 2 の物質、第 3 の物質、金属塩（例えば、溶解させられた元素の金属塩）、アルカリ土類金属水酸化物（例えば、水酸化カルシウムおよび／または水酸化マグネシウム）、アルカリ土類金属酸化物（例えば、酸化カルシウムおよび／または酸化マグネシウム）、遷移金属水酸化物、遷移金属酸化物、および／または元素金属等の本明細書に開示される任意の物質）が、印加される電気電位の使用または補助を用いて、例えば、電解採取のプロセスによって、沈殿させられる（例えば、選択的に沈殿させられる）。そのような沈殿は、選択された電気電位または電気電位の範囲の印加によって、その他に優先して、ある物質を選択的に沈殿させるために行われ得る（例えば、固体（例えば、本明細書に開示される任意の固体）、灰、および／または液体溶媒流から）。物質が沈殿するであろう電位または複数の電位を決定する方法は、電気化学技術分野における当業者に公知である。一実施形態において、電気電位は、体系的に変動され、順次、一連の堆積生成物を沈殿させる。

30

【0362】

いくつかの実施形態において、溶液が、溶解度または溶解率を増加させるために加熱される。いくつかの実施形態において、溶液は、溶解度を減少させ、沈殿を向上させるために冷却される。

40

【0363】

酸性および／または塩基性溶液は、同じ電気化学反応器によって、または別個の反応器によって生産され得る。酸性および／または塩基性溶液は、該反応器または複数の反応器によって生産された後、例えば、貯蔵タンク内に、後の使用のために貯蔵され得る。

【0364】

いくつかの実施形態において、反応器または複数の反応器は、断続的再生可能電気を使用して動作させられる。いくつかの実施形態において、反応器または複数の反応器は、直接、溶解および／または沈殿プロセスにおいて使用される酸および／または塩基流を生産する。他の実施形態において、電気化学反応器によって生産される酸および／または塩基

50

流は、後の使用のために貯蔵される。いくつかの実施形態において、電気は、低コストの時間に使用され、反応器を動作させ、酸または塩基を生産し、それらは、貯蔵され、高電気コストの時間に化学溶解および沈殿プロセスを動作させるために使用される。

【0365】

いくつかの実施形態において、この例に説明される方法は、限定ではないが、下水沈殿物、冶金プロセスからのスラグ、地中または水中源から採掘された鉱物、および月または他の惑星から採掘された鉱物を含む他の岩石または廃棄物流にも適用される。

【0366】

いくつかの実施形態において、この例に説明される方法は、不純であり、石灰石中に多くない、原材料からの高カルシウム石灰石の製造を補助する。いくつかの実施形態において、この例に説明される方法は、 $Mg(OH)_2$  または  $MgO$  がドロマイトから隔離されることを可能にするであろう。

(実施例3)

【0367】

本実施例は、燃焼灰をリサイクルする方法およびデバイスを説明する。

【0368】

米国中において、廃棄物焼却発電 (WTE) 設備が、年間、約30メガトンの固体廃棄物を累積的に燃焼させ、約14TWhの電気エネルギーを発生させている。一般廃棄物 (MSW) 燃焼からの「主灰」は、燃焼される多様な消費者製品を前提として、元素資源が豊富である。石炭燃焼プラントからのもの等の他の飛散灰源も、貴重な元素を含有し得る。従来、一般に、主灰から、具体的に、MSW燃焼主灰からの貴重な元素および化合物の回収は、限定されている。大部分のそのような灰は、埋め立てられる。

【0369】

一般に、燃焼プロセスの生成物からの灰、具体的に、MSWまたはプラント灰から貴重な成分をリサイクルまたは抽出する方法、デバイス、材料、およびシステムが、本明細書に説明される。そのようなリサイクルまたは抽出は、酸性溶液または塩基性溶液または両方を使用し、それは、熱の追加の利益の有無にかかわらず、電気化学反応を通して生産されることができる。WTE設備において最も広く利用可能な2つのエネルギー源は、工場自体の運用から結果として生じる電気および熱である。しかしながら、そのようなリサイクルまたは抽出の目的のために、電気が、グリッド電気および断続的再生可能電気を含む、任意の源から提供され得る。

【0370】

貴重な成分をそのような灰からリサイクルまたは抽出するための1つの技法が、電気化学を使用して、液体溶媒流を生産し、液体溶媒流において、主灰の成分が、回収または廃棄のために、好適な容器内において、選択的に溶解させられ、または沈殿させられ、または両方が行われる。いくつかの実装では、電解プロセスが、続いて、有用な元素および化合物をそのような灰から溶解および抽出するために使用される酸、または塩基、または両方を生産するために使用される。いくつかの実装では、酸、塩基、または両方は、電気化学反応器によって生産される。酸、または塩基、または両方を生産する、電気化学反応器、および化学溶解または沈殿または両方のために、酸、塩基、または両方を収集するシステムは、2019年3月14日出願された米国仮特許出願第62/818,604号、2019年8月15日出願された米国仮特許出願第62/887,143号、および2020年1月16日出願された米国仮特許出願第62/962,061号、および2020年3月13日出願された国際特許出願第PCT/US2020/022672号(その全てが、参照することによってその全体として組み込まれる)に説明される。

【0371】

いくつかの実装では、電解反応器は、電解槽、塩素アルカリ反応器、または少なくとも酸または塩基を生産する他のそのような電気化学反応器であり得る。いくつかの実装では、酸、または塩基、または両方は、反応器によって、水溶液として生産され、灰の成分を溶解させることにおける使用のために収集される。いくつかの実装では、電気化学反応器

10

20

30

40

50

は、同時に、酸および塩基を生産する。そのような反応器の例は、中性水電解槽である。いくつかの実装では、電気化学反応器は、塩基と、続いて、酸に変換され得る化合物とを生産する。そのような反応器の例は、塩素アルカリ反応器であり、それは、NaOH塩基を生産することと同時に、塩素ガスを生産する。塩素ガスは、続いて、「酸バーナ」内の水または水素と反応させられ、塩酸を生産し得る。

【0372】

金属成分を燃焼灰から回収する方法の非限定的例として、電気化学反応器によって生産される酸を備えている酸性溶液が、調製される。電気化学反応器によって生産される塩基を備えている塩基性溶液も、調製される。酸性溶液は、着目金属または複数の金属が少なくとも難溶性であるpHを有するように選択される。灰が、可溶性金属の少なくとも所望の割合を溶解させるために十分であるように選定される酸性溶液の体積と接触して、好適な容器内に設置される。溶解させられた金属を含む酸性溶液が、次いで、溶解させられた金属の金属水酸化物を沈殿させるために十分に高いように選択されるpHの塩基性溶液と接触して設置される。金属水酸化物固体は、次いで、収集され、着目金属を隔離する、または、その金属の燃焼灰を精製する。

【0373】

より具体的非限定的例では、中性水電解槽が、酸流を酸素発生カソードにおいて、アルカリ流を水素発生アノードにおいて生産するために使用される。この例では、使用され得る方法は、D. Ellis, A. F. Badel, M. L. Chiang, R. J. -Y. Park, Y. -M. Chiang, "Towards Electrochemical Synthesis of Cement - An Electrolyzer-Based Process for Decarbonating CaCO<sub>3</sub> While Producing Useful Gas Streams," PNAS, Sep 2019, 201821673; DOI: 10.1073/pnas.1821673116によって説明される。電解槽からの酸性溶液は、CaCl<sub>2</sub>、Ca(OH)<sub>2</sub>、またはCaSO<sub>4</sub>等の灰中に存在する少なくともあるカルシウム塩を選択的に溶解させるために使用される。電解槽からの塩基性溶液は、不溶性不純物を隔離しながら、アルカリ流中の水和された石灰(Ca(OH)<sub>2</sub>)を精製するために使用される。

【0374】

いくつかの実装では、一連の可変pHの溶液が、順次、それらのそれぞれの可溶性に従って、元素または化合物を灰から溶解させるために使用される。いくつかの実装では、一連の可変pHの溶液は、順次、それらの可溶性に従って、元素または化合物を沈殿させるために使用される。非限定的例として、一連の可変pHの酸性溶液は、燃焼灰と反応させられ、各pHは、ある金属または複数の金属を選択的に溶解させるように作用する。続いて、各溶液は、十分に高pHの塩基性溶液と反応させられ、溶解させられた金属を沈殿させ、それによって、標的金属を濃縮された形態で灰から選択的に抽出する。

【0375】

別の非限定的例として、その中にHClが塩素アルカリ反応器および酸バーナを使用して生産される1M HCl溶液が、いくつかの金属を燃焼灰から同時に溶解させるために使用される。続いて、一連の可変pHの塩基性溶液が、酸性溶液と反応させられ、順次、異なる金属を沈殿させる。

【0376】

いくつかの実装では、溶液は、溶解度または溶解率を増加させるために加熱される。いくつかの実装では、溶液は、溶解度を減少させ、沈殿を向上させるために冷却される。いくつかの実装では、溶液を加熱するために使用される熱は、灰を生産する燃焼プロセスから取得される。

【0377】

酸性溶液、または塩基性溶液、または両方が、同じ電気化学反応器によって、または別の反応器によって生産され得る。酸性溶液、または塩基性溶液、または両方が、反応器または複数の反応器によって生産された後、例えば、貯蔵タンク内に、後の使用のために

10

20

30

40

50

貯蔵され得る。

【0378】

いくつかの実装では、所望の沈殿反応が生じた後、酸性および塩基性溶液は、一緒に混合され、電解槽または反応器に戻され、そこで、電解質として使用されるほぼ中性 pH 溶液を生成する。非限定的例として、水酸化ナトリウムが、カルシウムを塩化カルシウム溶液から沈殿させるために使用された後、結果として生じる塩化ナトリウム溶液は、電解反応器に戻され、そこで、再び、塩酸および水酸化ナトリウムに分離される。

【0379】

いくつかの実装では、1つ以上の反応器が、WTE工場からの電気を使用して動作させられる。いくつかの実装では、1つ以上の反応器は、断続的再生可能電気を使用して動作させられる。いくつかの実装では、反応器または2つ以上の反応器は、直接、溶解プロセス、または沈殿プロセス、または両方プロセスにおいて使用される酸流、または塩基流、または両方を生産する。いくつかの実装では、電気化学反応器によって生産される酸流、または塩基流、または両流は、後の使用のために貯蔵される。いくつかの実装では、電気は、低コストの時間に使用され、1つ以上の反応器を動作させ、酸または塩基または両方を生産し、それらは、貯蔵され、高電気コストの時間に、化学溶解および沈殿プロセスを動作させるために使用される。

【0380】

いくつかの実装では、電気化学的に動作させられる溶解および沈殿プロセスは、静電沈殿または電気機械的または電磁分離またはそれらの任意の組み合わせ等の他の電気プロセスを動作させるための電気源もまた含むシステムにおいて使用される。

【0381】

前述は、主灰からの化学成分の効率的分離および捕捉のための電気化学および熱電化学方法を提供する。いくつかの実装では、技法は、限定ではないが、下水沈殿物、冶金プロセスからのスラグ、地中または水中源から採掘された鉱物、および月または他の惑星から採掘された鉱物を含む燃焼プロセスからの灰以外の廃棄物流にも適用されることができる。

(実施例4)

【0382】

本実施例は、燃焼灰をリサイクルする方法を説明する。

【0383】

一般廃棄物(MSW)灰のサンプルが、切削され、1mm篩を通して篩分され、篩を通過した少量が、さらなる処理に曝された。篩を通過した灰は、1kgの灰対10Lの酸の比率における1M HCl溶液と混合され、24時間にわたって、反応させられた。浸出液が、濾過によって、灰の不溶性の少量から分離された。誘導結合プラズマ(ICP)放出分析が、検出限界を上回って存在する場合、浸出液中に存在する元素および各々の濃度を分析するために使用された。浸出液は、次いで、電解採取または沈殿のいずれかを用いて、以下のようにさらに処理された。

電解採取：

【0384】

灰浸出液が、50℃の温度で保持され、持続的にかき混ぜられた。白金作業電極(WE)および対電極(CE)が、灰浸出液の電解採取サンプルのために、Ag/AgCl基準電極である第3の電極とともに使用された。

【0385】

灰浸出液の第1のサンプルは、-0.25Vの一定電位で保持された。Biが、より少量のCuとともに、WEで回収された。

【0386】

灰浸出液の第2のサンプルは、-0.50Vの一定電位で保持された。WEで回収された主要元素は、Bi、Cu、Cd、およびPbであった。

【0387】

灰浸出液の第3のサンプルは、 $-0.75\text{ V}$ の一定電位で保持された。WEで回収された主要元素は、Bi、Cu、Cd、Pb、およびNiであった。

【0388】

以下の金属、すなわち、Ag、Co、Cr、Fe、Mn、Ni、Sr、Znも、これらのサンプル中により低い濃度で回収された。各電解採取が稼働後、WE上の堆積物が、 $1\text{ M HCl}$ 中に再溶解させられ、ICPによって分析された。

【0389】

これは、溶解（例えば、酸中）および適切な電位の選択による電解採取によって、金属元素をMSW灰から選択的または非選択的に回収することが可能であることを実証する。

沈殿：

【0390】

開始灰浸出液溶液のサンプルが、 $0.1\text{ M}$ 、 $1\text{ M}$ 、または $10\text{ M NaOH}$ 溶液の滴下添加によって、所望のpHに滴定され、アルカリ溶液濃度が、実験において、所望のpHに基づいて選択された。沈殿後、沈殿物が、真空濾過によって、浸出液から収集され、濾過された溶液は、後続沈殿実験において使用された。収集された沈殿物は、脱イオン水で浣濯され、乾燥され、走査電子顕微鏡検査と元素組成に関するエネルギー分散X線分析（EDS）を併用して、乾燥粉末として特性評価された、または沈殿物は、ICP分析のために、 $\text{HCl}$ 溶液中に再溶解させられた。

【0391】

具体的順次沈殿実験では、灰浸出液が、MSW灰を $37\%\text{ HCl}$ 中に溶解し、濾過し、不溶性の少量を分離することによって調製された。浸出液は、 $10\text{ M NaOH}$ を使用して、 $\text{pH}=0$ に滴定され、次いで、 $1\text{ M NaOH}$ を使用して、 $\text{pH}=1$ に滴定された。形成された任意の沈殿物は、分析のために、真空濾過によって、浸出液から分離された。残りの浸出液は、次いで、1単位高いpH（例えば、 $\text{pH}=2$ 、次いで、 $\text{pH}=3$ 等）まで滴定され、沈殿物は、真空濾過によって除去された。この手順は、溶液が $\text{pH}=14$ に到達するまで繰り返された。

【0392】

pHを1単位ずつ増加させて滴定すると、可視沈殿が、pHを $\text{pH}=4$ 、 $5$ 、 $7$ 、 $13$ 、および $14$ に漸増させると、生じた。可視沈殿は、pHを $\text{pH}=1$ 、 $2$ 、 $3$ 、 $6$ 、 $8$ 、 $9$ 、 $10$ 、 $11$ 、および $12$ に漸増させると、生じなかった。pH=4では、沈殿物中の金属は、EDSによって、主に、AlおよびFeであることが見出された。pH=5では、沈殿物中の金属は、EDSによって、同様に、主に、AlおよびFeであることが見出された。pH=7では、沈殿物中の金属は、EDSによって、Mg、Al、Cu、Zn、Fe、およびCaであることが見出され、微量のNiを伴った。pH=13では、沈殿物中の主要金属は、EDSによって、CaおよびMgであることが見出された。pH=14では、沈殿物中の主要金属は、Naであって、微量のCaおよびSiを伴った。

【0393】

本実施例は、MSW灰から溶解させられた浸出液からの金属塩の順次かつ選択的沈殿を実証する。

【0394】

本発明のいくつかの実施形態が、本明細書に説明および図示されているが、当業者は、本明細書に説明される機能を実施する、および／または結果および／または利点のうちの1つ以上を取得するための種々の他の手段および／または構造を容易に想起し、そのような変形例および／または修正の各々は、本発明の範囲内であると見なされる。より一般的に、当業者は、本明細書に説明される全てのパラメータ、寸法、材料、および構成が、例示的であることを意図し、実際のパラメータ、寸法、材料、および／または構成が、本発明の教示が使用される具体的な用途または複数の用途に依存するであろうことを容易に理解するであろう。当業者は、日常的にすぎない実験を使用して、本明細書に説明される発明の具体的実施形態の多くの均等物を認識する、または確認することが可能であるであろう。したがって、前述の実施形態が、例のみとして提示され、添付の請求項およびその均

10

20

30

40

50

等物の範囲内で、本発明が、具体的に説明および請求されるものとは別様に実践され得ることを理解されたい。本発明は、本明細書に説明される各個々の特徴、システム、物品、材料、および／または方法を対象とする。加えて、2つ以上のそのような特徴、システム、物品、材料、および／または方法の任意の組み合わせは、そのような特徴、システム、物品、材料、および／または方法が互いに矛盾しない場合、本発明の範囲内に含まれる。明細書および請求項において本明細書で使用されるような不定冠詞「a」および「an」は、明確にそうではないことが示されない限り、「少なくとも1つ」を意味すると理解されるはずである。

#### 【0395】

本明細書および請求項において本明細書で使用されるような語句「および／または」は、そのように結合される要素の「いずれかまたは両方」、すなわち、ある場合には接続的に存在し、他の場合には離散的に存在する要素を意味すると理解されたい。具体的に識別されるそれらの要素に関連するか、または関連しないかどうかにかかわらず、「および／または」の節によって具体的に識別される要素以外の他の要素も、明確にそうではないことが示されない限り、随意に存在し得る。したがって、非限定的例として、「Aおよび／またはB」の言及は、「comprising（～を備えている）」等の非制約的文言と併せて使用されるときに、一実施形態において、Bを伴わないA（随意に、B以外の要素を含む）、別の実施形態において、Aを伴わないB（随意に、A以外の要素を含む）、さらに別の実施形態において、AおよびBの両方（随意に、他の要素を含む）等を指すことができる。

#### 【0396】

本明細書および請求項において本明細書で使用されるように、「または」は、上記に定義されるような「および／または」と同じ意味を有すると理解されたい。例えば、リスト内の項目を分離するとき、「または」または「および／または」は、包括的である、すなわち、少なくとも1つの包含であるが、いくつかの要素または要素のリストのうちの2つ以上のもの随意に、追加の列挙されていない項目も含むものとして、解釈されるものとする。「～のうちの1つのみ」または「～のうちの厳密に1つ」、または請求項で使用されるとき「～から成る」等の明確に反対に示される用語のみが、いくつかの要素または要素のリストのうちの厳密に1つの要素の包含を指すであろう。一般に、本明細書で使用されるような用語「または」は、「いずれか」、「～のうちの1つ」、「～のうちの1つのみ」、または「～のうちの厳密に1つ」等の排他性の用語が先行するとき、排他的代替物（すなわち、「両方ではないが一方または他方」）のみを示すものとして解釈されることとする。請求項で使用されるとき「本質的に～から成る」は、特許法の分野で使用されるようなその通常の意味を有するものとする。

#### 【0397】

本明細書および請求項において本明細書で使用されるように、1つ以上の要素のリストの参照における語句「少なくとも1つ」は、要素のリストの中の要素のうちのいずれか1つ以上のものから選択されるが、要素のリスト内に具体的に列挙されるありとあらゆる要素のうちの少なくとも1つを必ずしも含むわけではなく、要素のリストの中の要素のいかなる組み合わせも除外しない、少なくとも1つの要素を意味すると理解されたい。本定義はまた、具体的に識別されるそれらの要素に関連するか、または関連しないかどうかにかかわらず、語句「少なくとも1つ」が指す要素のリスト内で具体的に識別される要素以外の要素が、随意に、存在し得ることも可能にする。したがって、非限定的例として、「AおよびBのうちの少なくとも一方」（または同等に、「AまたはBのうちの少なくとも一方」、または同等に、「Aおよび／またはBのうちの少なくとも一方」）は、一実施形態において、Bが存在しない（随意に、B以外の要素を含む）、随意に、2つ以上のAを含む、少なくとも1つのA、別の実施形態において、Aが存在しない（随意に、A以外の要素を含む）、随意に、2つ以上のBを含む、少なくとも1つのB、さらに別の実施形態において、随意に、2つ以上のAを含む、少なくとも1つのA、および随意に、2つ以上のBを含む、少なくとも1つのB（随意に、他の要素を含む）等を指すことができる。

【 0 3 9 8 】

請求項では、および上記の明細書では、「**c o m p r i s i n g**（～を備えている）」、「**i n c l u d i n g**（～を含む）」、「**c a r r y i n g**（～を有保する）」、「**h a v i n g**（～を有する）」、「**c o n t a i n i n g**（～を含む）」、「**i n v o l v i n g**（～を伴う）」、「**h o l d i n g**（～を保持する）」等々の全ての移行句は、非制約的である、すなわち、「限定ではないが、～を含む」を意味すると理解されたい。移行句「**c o n s i s t i n g o f**（～から成る）」および「本質的に～から成る（**c o n s i s t i n g e s s e n t i a l l y o f**）」のみが、それぞれ、米国特許庁特許審査手順マニュアル第2111.03節に記載されるように、閉鎖的または半閉鎖的移行句であるものとする。

【 図 面 】

【 図 1 A 】

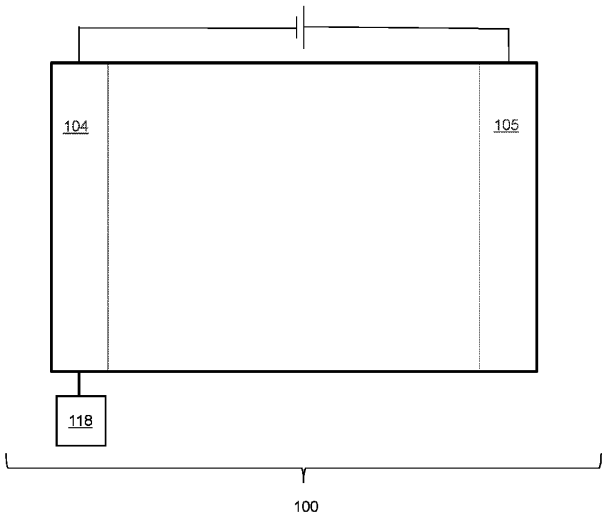


FIG. 1A

【 図 1 B 】

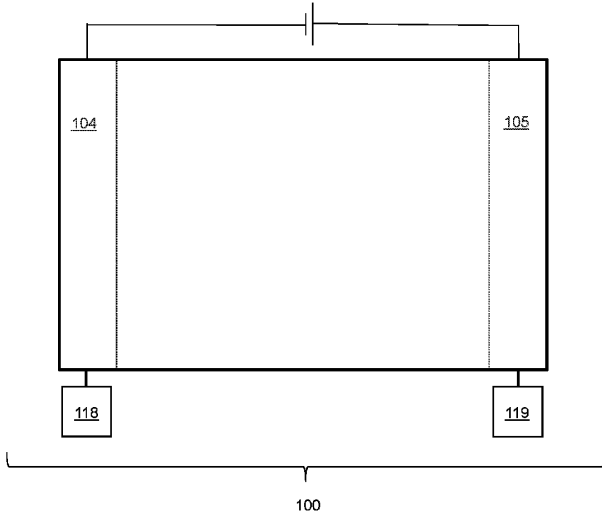


FIG. 1B

10

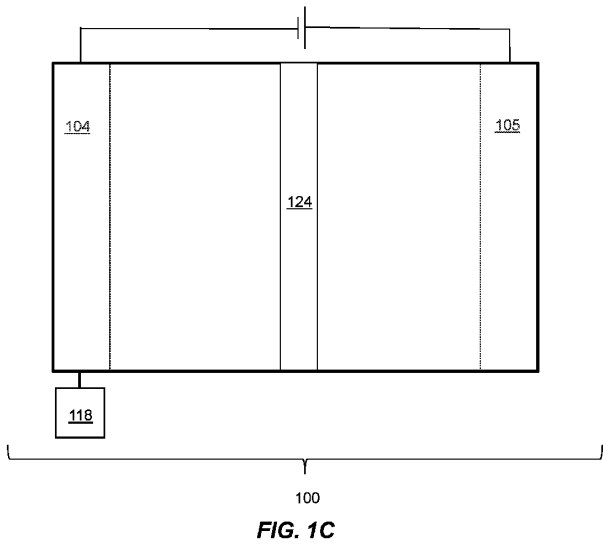
20

30

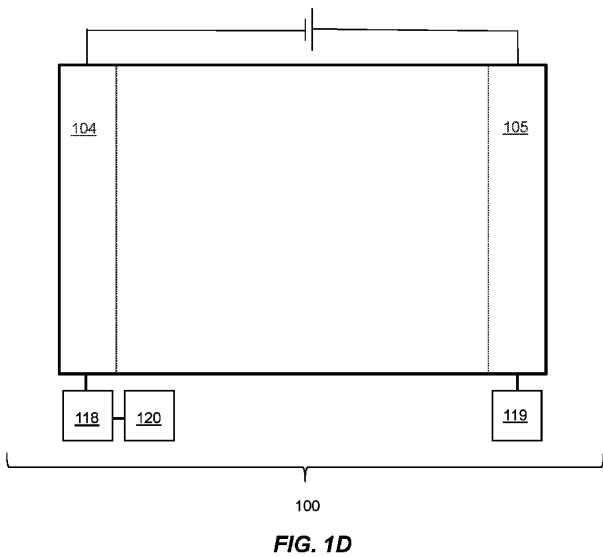
40

50

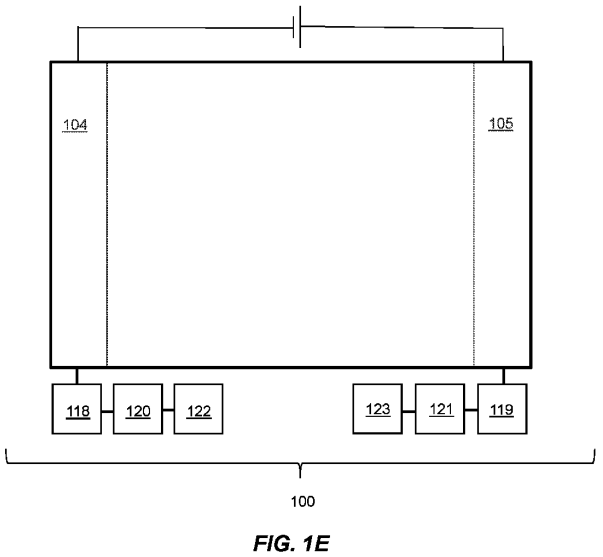
【図 1 C】



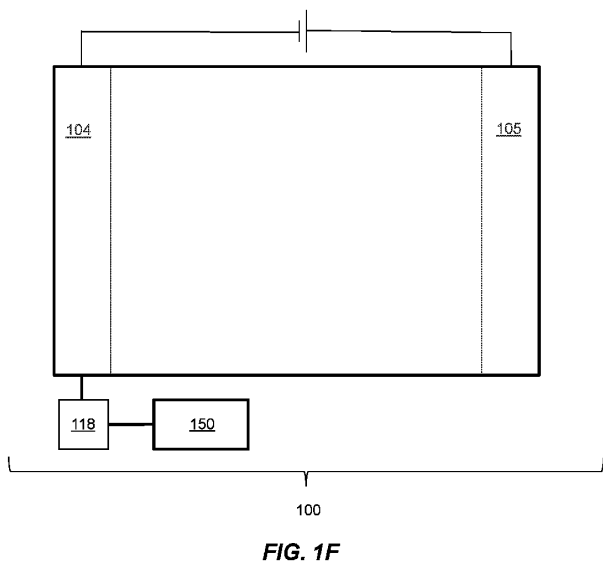
【図 1 D】



【図 1 E】



【図 1 F】



10

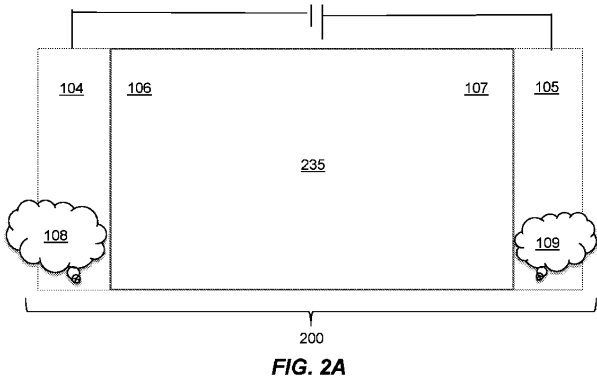
20

30

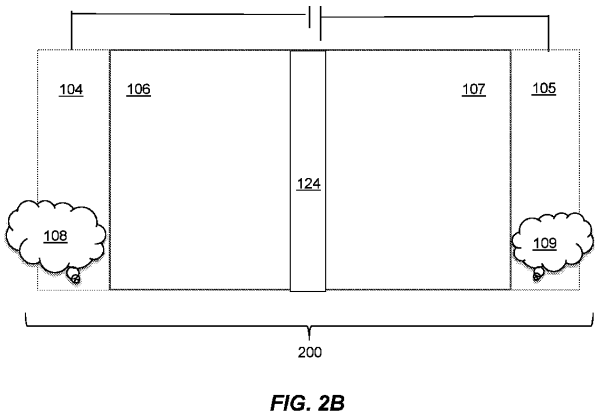
40

50

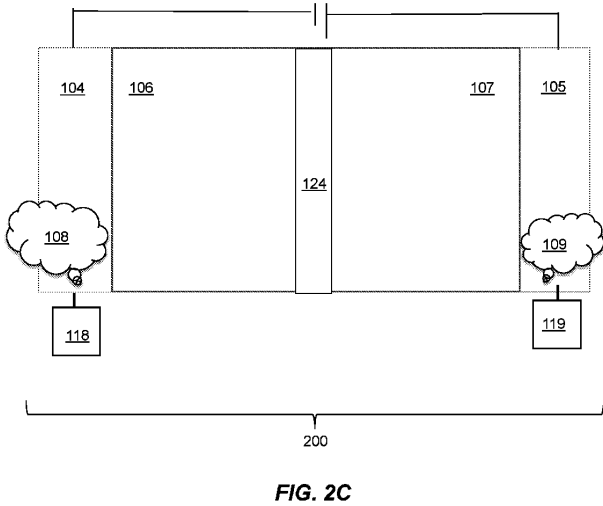
【図 2 A】



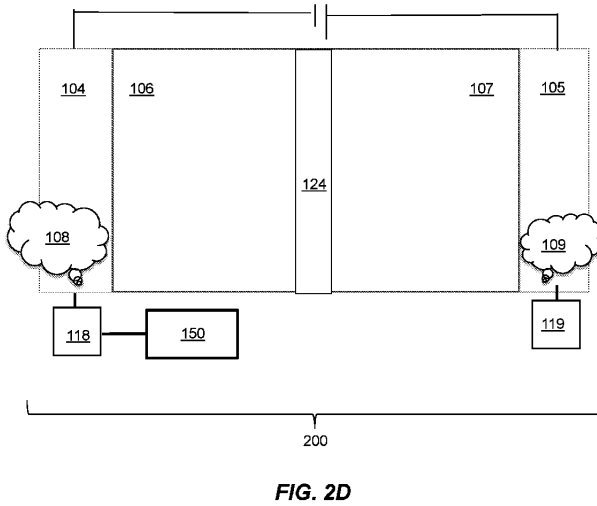
【図 2 B】



【図 2 C】



【図 2 D】



10

20

30

40

50

【図 3 A】

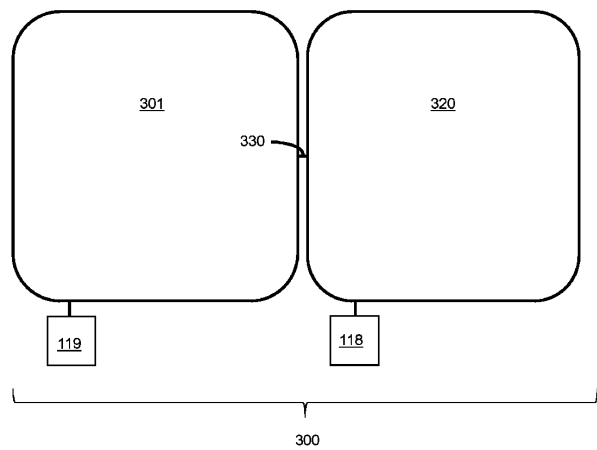


FIG. 3A

【図 3 B】

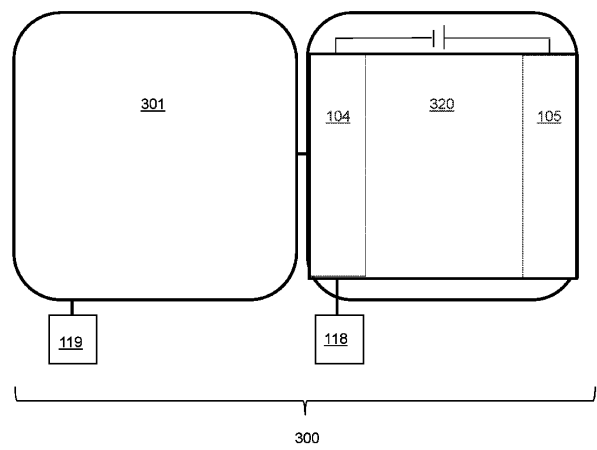


FIG. 3B

【図 4 A】

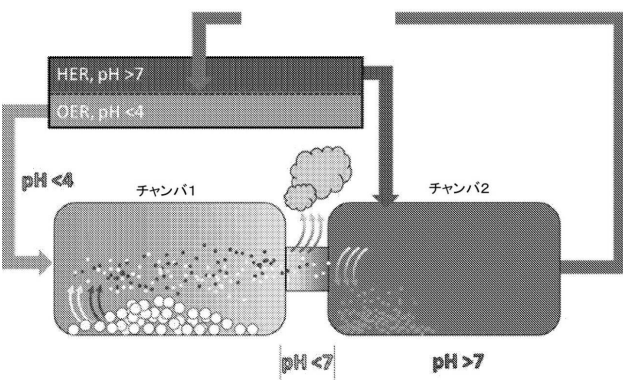


FIG. 4A

【図 4 B】

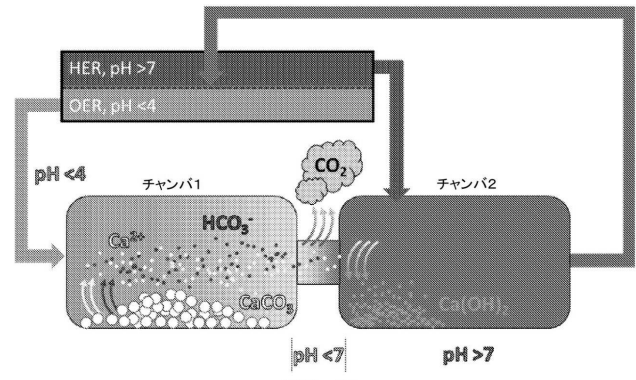


FIG. 4B

【図 5 A】

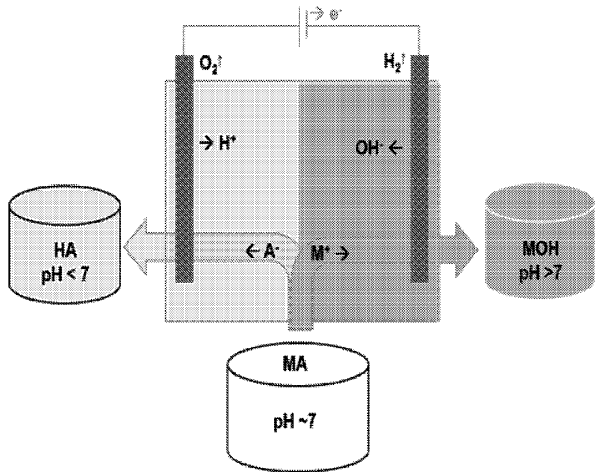


FIG. 5A

【図 5 B】

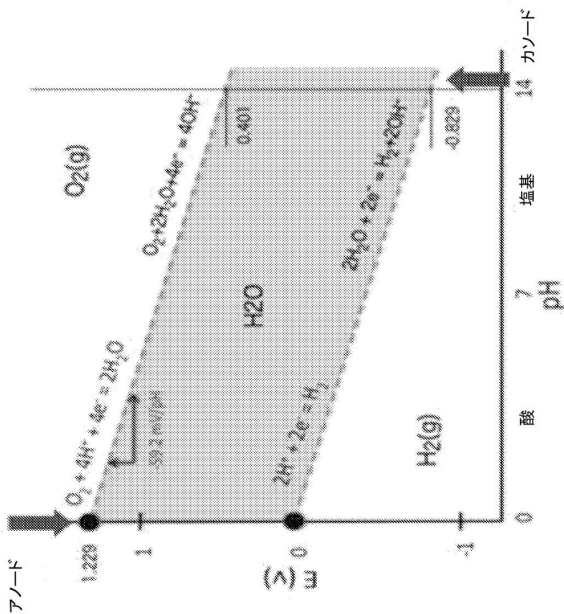


FIG. 5B

【図 6 A】

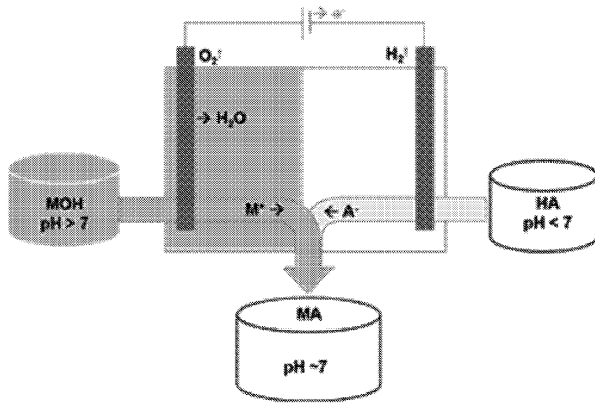


FIG. 6A

【図 6 B】

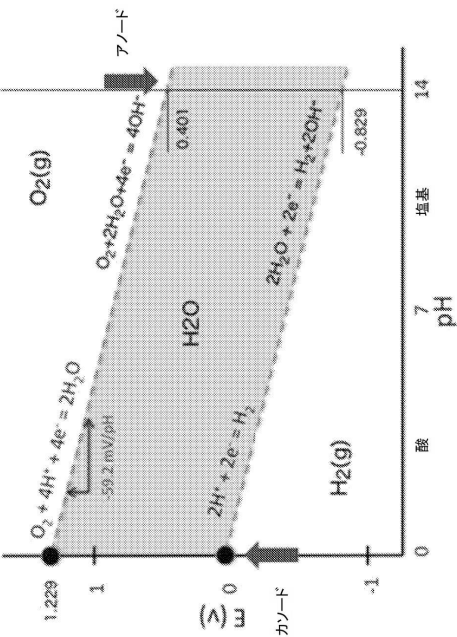


FIG. 6B

10

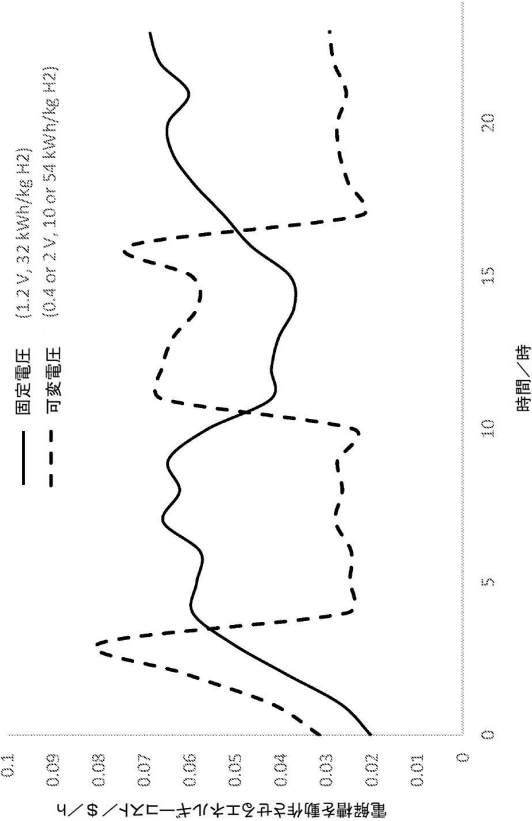
20

30

40

50

【図 7】



【図 8 A】

FIG. 7

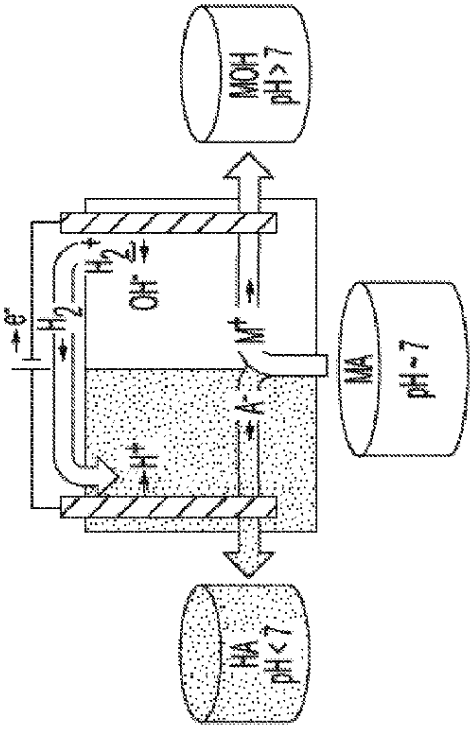
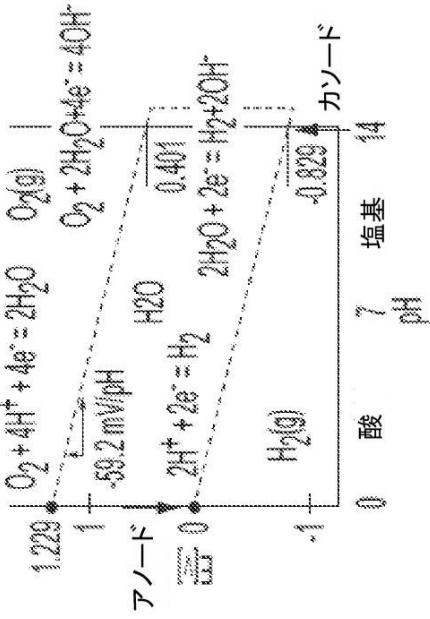


FIG. 8A

【図 8 B】



【図 9 A】

FIG. 8B

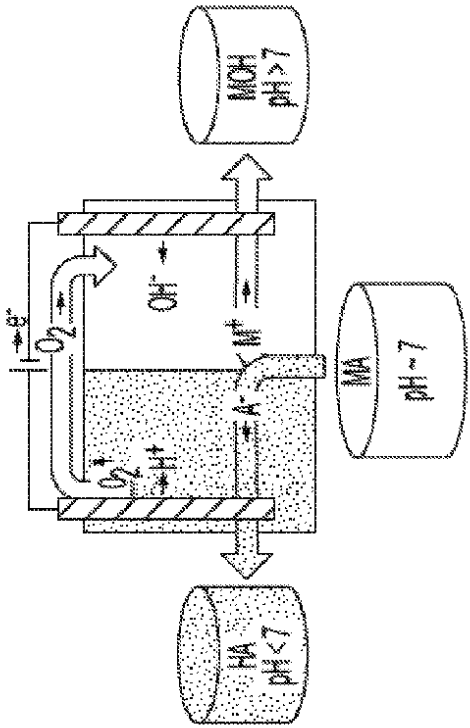


FIG. 9A

10

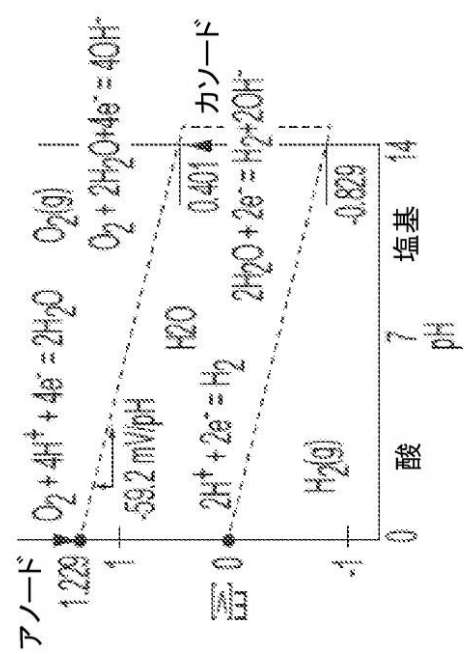
20

30

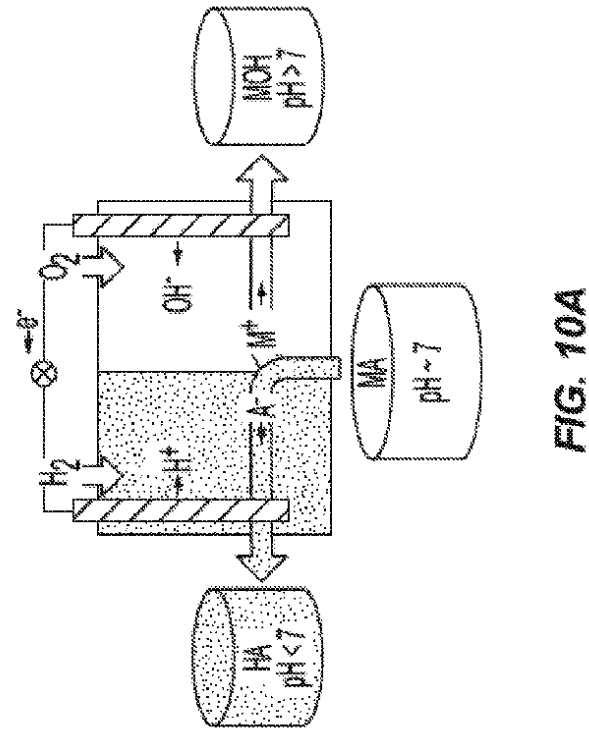
40

50

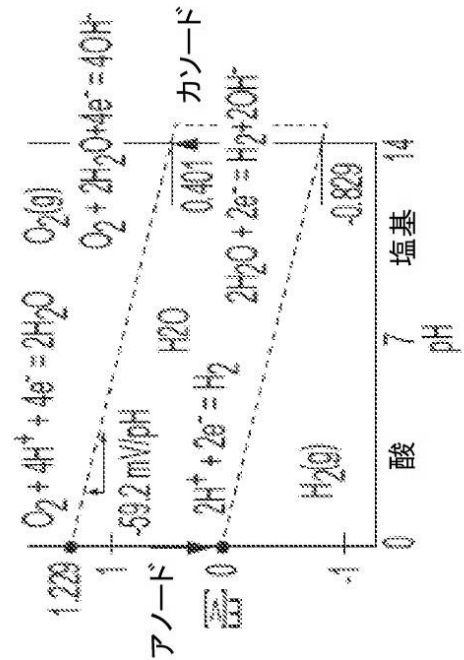
【図 9 B】



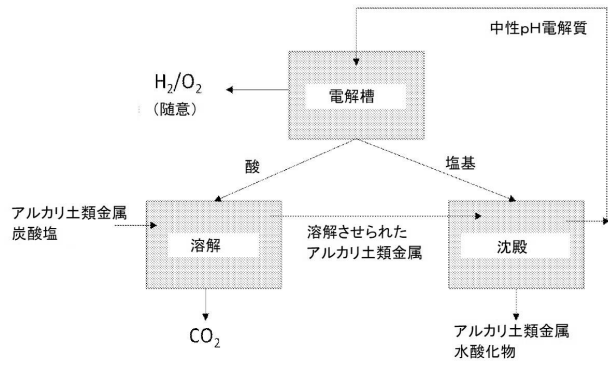
【図 10 A】



【図 10 B】



【図 11】



10

20

30

40

50

【図 1 2】

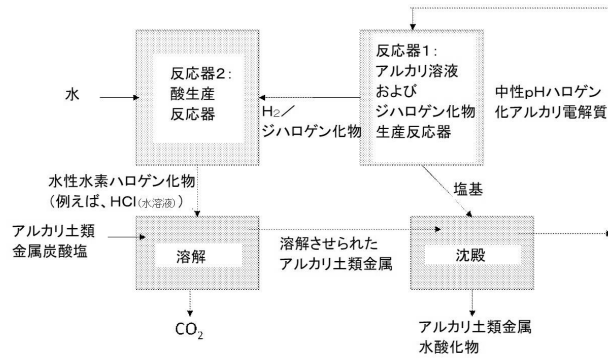


FIG. 12

【図 1 3】

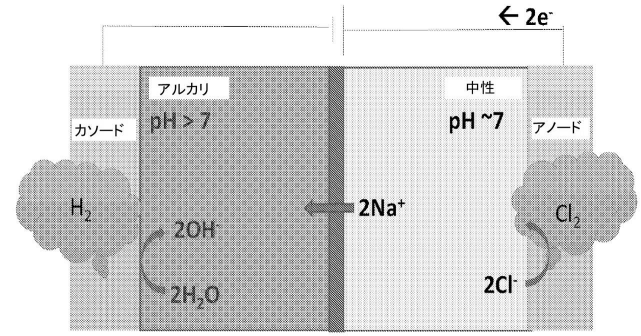


FIG. 13A

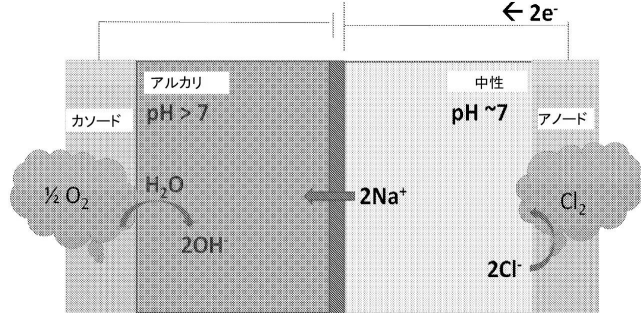


FIG. 13B

【図 1 4】

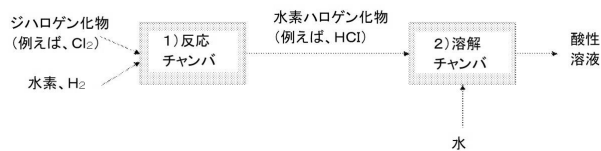
ジハロゲン化物が、H<sub>2</sub>と反応させられる場合

FIG. 14A

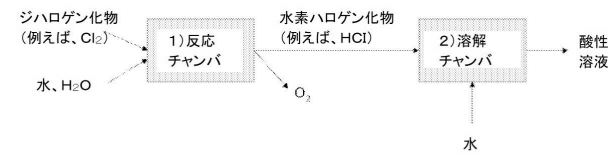
ジハロゲン化物がH<sub>2</sub>Oと反応させられる場合

FIG. 14B

【図 1 5 A】

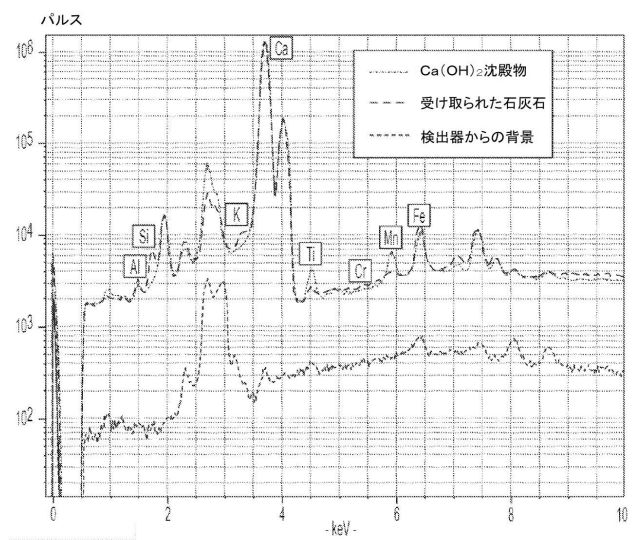


FIG. 15A

10

20

30

40

50

【図 1 5 B】

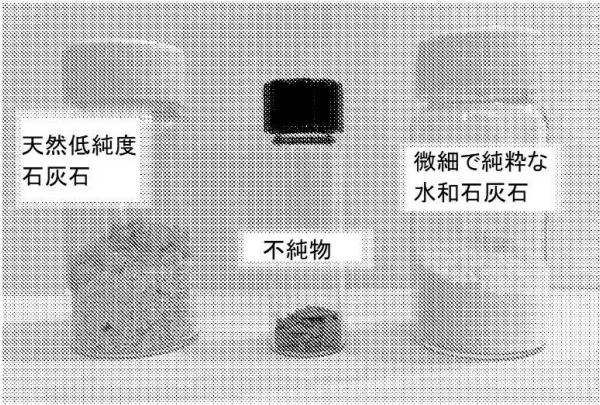


FIG. 15B

【図 1 6 A】

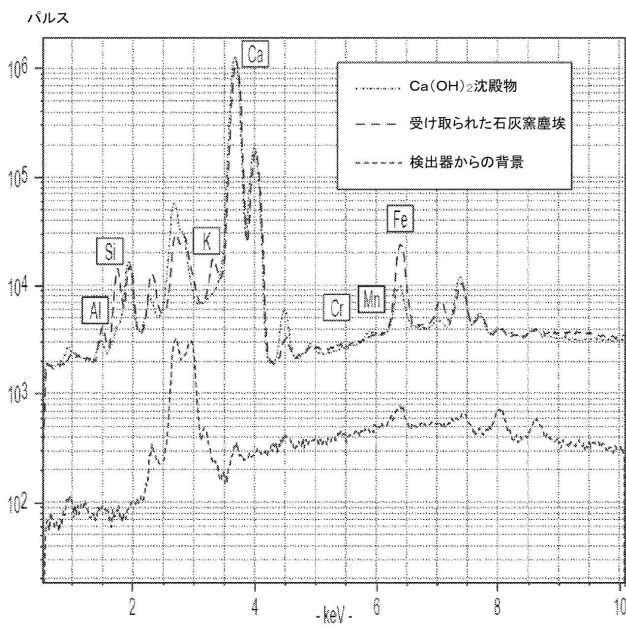


FIG. 16A

【図 1 6 B】

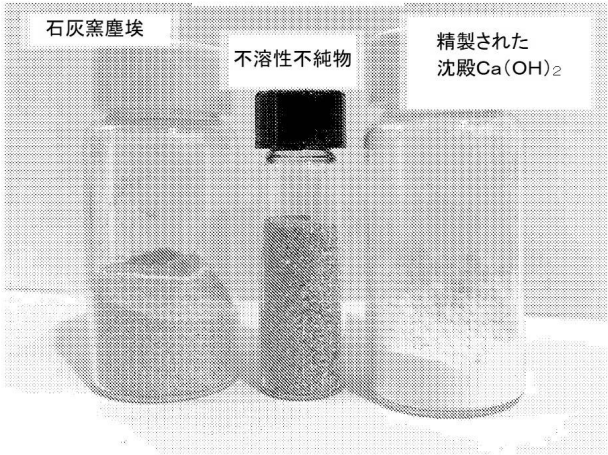


FIG. 16B

10

20

30

40

50

## 【国際調査報告】

## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No  
PCT/US2021/029918

| <b>A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER</b><br>INV. C01B13/00 C01F11/00 C22B3/02 C22B3/44 C22B7/00<br>ADD.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |                                                                                                                     |                                                                      |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------|
| According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |                                                                                                                     |                                                                      |
| <b>B. FIELDS SEARCHED</b><br>Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)<br>C01G C22B C01C C01B C01F                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |                                                                                                                     |                                                                      |
| Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |                                                                                                                     |                                                                      |
| Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)<br>EPO-Internal, COMPENDEX, WPI Data                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |                                                                                                                     |                                                                      |
| <b>C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |                                                                                                                     |                                                                      |
| Category*                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          | Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages                                  | Relevant to claim No.                                                |
| X                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  | US 2011/182786 A1 (BURBA III JOHN L [US])<br>28 July 2011 (2011-07-28)<br>the whole document<br>-----               | 1-27                                                                 |
| X                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  | US 2014/010743 A1 (KOSMOSKI JOSEPH VICTOR<br>[US] ET AL) 9 January 2014 (2014-01-09)<br>the whole document<br>----- | 1-27                                                                 |
| X                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  | JP 2015 074575 A (ASAHI GLASS CO LTD)<br>20 April 2015 (2015-04-20)<br>the whole document<br>-----                  | 1-27                                                                 |
| X                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  | US 2010/154593 A1 (RATCHEV IVAN [AU] ET<br>AL) 24 June 2010 (2010-06-24)<br>the whole document<br>-----             | 1-27                                                                 |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    | -/-                                                                                                                 |                                                                      |
| <input checked="" type="checkbox"/> Further documents are listed in the continuation of Box C. <input checked="" type="checkbox"/> See patent family annex.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |                                                                                                                     |                                                                      |
| * Special categories of cited documents :<br>"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance<br>"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date<br>"L" document which may throw doubt on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)<br>"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means<br>"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed<br>"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<br>"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<br>"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<br>"&" document member of the same patent family |                                                                                                                     |                                                                      |
| Date of the actual completion of the international search<br><br>22 July 2021                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |                                                                                                                     | Date of mailing of the international search report<br><br>24/09/2021 |
| Name and mailing address of the ISA/<br>European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2<br>NL - 2280 HV Rijswijk<br>Tel. (+31-70) 340-2040,<br>Fax: (+31-70) 340-3016                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |                                                                                                                     | Authorized officer<br><br>Juhart, Matjaz                             |

Form PCT/ISA/210 (second sheet) (April 2005)

10

20

30

40

50

## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.  
PCT/US2021/029918

**Box No. II Observations where certain claims were found unsearchable (Continuation of Item 2 of first sheet)**

This international search report has not been established in respect of certain claims under Article 17(2)(a) for the following reasons:

1. ☐ Claims Nos.:  
because they relate to subject matter not required to be searched by this Authority, namely:
2. ☐ Claims Nos.:  
because they relate to parts of the international application that do not comply with the prescribed requirements to such an extent that no meaningful international search can be carried out, specifically:
3. ☐ Claims Nos.:  
because they are dependent claims and are not drafted in accordance with the second and third sentences of Rule 6.4(a).

10

20

**Box No. III Observations where unity of invention is lacking (Continuation of Item 3 of first sheet)**

This International Searching Authority found multiple inventions in this international application, as follows:

see additional sheet

1. ☐ As all required additional search fees were timely paid by the applicant, this international search report covers all searchable claims.
2. ☐ As all searchable claims could be searched without effort justifying an additional fees, this Authority did not invite payment of additional fees.
3. ☐ As only some of the required additional search fees were timely paid by the applicant, this international search report covers only those claims for which fees were paid, specifically claims Nos.:
4. ☒ No required additional search fees were timely paid by the applicant. Consequently, this international search report is restricted to the invention first mentioned in the claims; it is covered by claims Nos.:

30

40

1-27

**Remark on Protest**

- ☐ The additional search fees were accompanied by the applicant's protest and, where applicable, the payment of a protest fee.
- ☐ The additional search fees were accompanied by the applicant's protest but the applicable protest fee was not paid within the time limit specified in the invitation.
- ☐ No protest accompanied the payment of additional search fees.

## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No  
PCT/US2021/029918

| C(Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT |                                                                                                               |                       |
|------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------|
| Category*                                            | Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages                            | Relevant to claim No. |
| X                                                    | WO 2018/087697 A1 (AVALON ADVANCED MAT INC [CA]) 17 May 2018 (2018-05-17)<br>the whole document<br>-----      | 1-27                  |
| X                                                    | US 2008/124269 A1 (DAUDEY PIETER JOHANNES [NL] ET AL) 29 May 2008 (2008-05-29)<br>the whole document<br>----- | 1-27                  |
| X                                                    | FR 2 748 755 A1 (CERESOLI ANDRE [FR])<br>21 November 1997 (1997-11-21)<br>the whole document<br>-----         | 1-27                  |

Form PCT/ISA/210 (continuation of second sheet) (April 2005)

## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International application No

PCT/US2021/029918

| Patent document<br>cited in search report | Publication<br>date | Patent family<br>member(s) | Publication<br>date |
|-------------------------------------------|---------------------|----------------------------|---------------------|
| US 2011182786 A1                          | 28-07-2011          | AU 2011207307 A1           | 06-09-2012          |
|                                           |                     | BR 112012017939 A2         | 24-09-2020          |
|                                           |                     | CA 2787515 A1              | 28-07-2011          |
|                                           |                     | CN 102939397 A             | 20-02-2013          |
|                                           |                     | CN 107385207 A             | 24-11-2017          |
|                                           |                     | EA 201201035 A1            | 28-02-2013          |
|                                           |                     | EP 2526213 A1              | 28-11-2012          |
|                                           |                     | ES 2712553 T3              | 13-05-2019          |
|                                           |                     | HK 1247256 A1              | 21-09-2018          |
|                                           |                     | JP 2013528696 A            | 11-07-2013          |
|                                           |                     | KR 20120139701 A           | 27-12-2012          |
|                                           |                     | US 2011182786 A1           | 28-07-2011          |
|                                           |                     | US 2015197826 A1           | 16-07-2015          |
|                                           |                     | US 2019136340 A1           | 09-05-2019          |
|                                           |                     | WO 2011091231 A1           | 28-07-2011          |
|                                           |                     | ZA 201206222 B             | 29-04-2015          |
| US 2014010743 A1                          | 09-01-2014          | AU 2012230776 A1           | 31-10-2013          |
|                                           |                     | CA 2868373 A1              | 27-09-2012          |
|                                           |                     | US 2014010743 A1           | 09-01-2014          |
|                                           |                     | WO 2012129510 A1           | 27-09-2012          |
| JP 2015074575 A                           | 20-04-2015          | JP 6244799 B2              | 13-12-2017          |
|                                           |                     | JP 2015074575 A            | 20-04-2015          |
| US 2010154593 A1                          | 24-06-2010          | AU 2007288109 A1           | 28-02-2008          |
|                                           |                     | BR PI0715726 A2            | 18-03-2014          |
|                                           |                     | CN 101506394 A             | 12-08-2009          |
|                                           |                     | JP 2010501722 A            | 21-01-2010          |
|                                           |                     | KR 20090042996 A           | 04-05-2009          |
|                                           |                     | US 2010154593 A1           | 24-06-2010          |
|                                           |                     | WO 2008022381 A1           | 28-02-2008          |
| WO 2018087697 A1                          | 17-05-2018          | NONE                       |                     |
| US 2008124269 A1                          | 29-05-2008          | AU 2007353124 A1           | 20-11-2008          |
|                                           |                     | BR PI0718969 A2            | 07-01-2014          |
|                                           |                     | CA 2669758 A1              | 20-11-2008          |
|                                           |                     | CN 101641291 A             | 03-02-2010          |
|                                           |                     | EP 2094610 A2              | 02-09-2009          |
|                                           |                     | JP 2010510156 A            | 02-04-2010          |
|                                           |                     | KR 20090082925 A           | 31-07-2009          |
|                                           |                     | US 2008124269 A1           | 29-05-2008          |
|                                           |                     | WO 2008139266 A2           | 20-11-2008          |
| FR 2748755 A1                             | 21-11-1997          | NONE                       |                     |

International Application No. PCT/ US2021/ 029918

**FURTHER INFORMATION CONTINUED FROM PCT/ISA/ 210**

This International Searching Authority found multiple (groups of) inventions in this international application, as follows:

1. claims: 1-27

Method for obtaining a purified substance by means of precipitation.

---

2. claims: 28-44

A process for extracting a component from ash and a system suitable for conducting said process.

---

3. claims: 45-62

A process for extracting a component from a solid comprising alkaline earth metal and a system suitable for conducting said process.

---

10

20

30

40

50

## フロントページの続き

## (51)国際特許分類

## F I

## テーマコード (参考)

**C 2 5 B 1/22 (2006.01)****C 2 5 B 1/22****C 2 5 B 15/031 (2021.01)****C 2 5 B 15/031**

,RW,SD,SL,ST,SZ,TZ,UG,ZM,ZW),EA(AM,AZ,BY,KG,KZ,RU,TJ,TM),EP(AL,AT,BE,BG,CH,CY,CZ,DE,D  
K,EE,ES,FI,FR,GB,GR,HR,HU,IE,IS,IT,LT,LU,LV,MC,MK,MT,NL,NO,PL,PT,RO,RS,SE,SI,SK,SM,TR),O  
A(BF,BJ,CF,CG,CI,CM,GA,GN,GQ,GW,KM,ML,MR,NE,SN,TD,TG),AE,AG,AL,AM,AO,AT,AU,AZ,BA,B  
B,BG,BH,BN,BR,BW,BY,BZ,CA,CH,CL,CN,CO,CR,CU,CZ,DE,DJ,DK,DM,DO,DZ,EC,EE,EG,ES,FI,GB,GD  
,GE,GH,GM,GT,HN,HR,HU,ID,IL,IN,IR,IS,IT,JO,JP,KE,KG,KH,KN,KP,KR,KW,KZ,LA,LC,LK,LR,LS,LU,  
LY,MA,MD,ME,MG,MK,MN,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,Z  
W

弁護士 山本 健策

(72)発明者 チャン, イェットーミン

アメリカ合衆国 マサチューセッツ 02493, ウェストン, ガン クラブ レーン 68

(72)発明者 エリス, リア

カナダ国 ビー4ビー 1エル4 ノヴァ スコティア, ハモンズ プレインズ, レイクフロント  
ドライブ 61

F ターム (参考) 4G076 AA10 AB09 AB21 AB28 BA13 BD01 BD02 BE11 CA22 CA33  
4K021 AA01 AA02 AA03 AB01 AB03 AB13 BA02 BB01 BB02 BB03  
CA08 CA09 DB31 DB40 EA06