(19)日本国特許庁(JP)　　(12)公表特許公報(A)　　(11)公表番号
特表2024-501262
(P2024-501262A)
(43)公表日　令和6年1月11日(2024.1.11)

(51)国際特許分類		FI			テーマコード（参考）
Ｃ０１Ｂ　32/60　(2017.01)		Ｃ０１Ｂ	32/60		４Ｄ００２
Ｃ０４Ｂ　18/167(2023.01)		Ｃ０４Ｂ	18/167	ＺＡＢ	４Ｄ０２０
Ｂ０１Ｄ　53/62　(2006.01)		Ｂ０１Ｄ	53/62		
Ｂ０１Ｄ　53/78　(2006.01)		Ｂ０１Ｄ	53/78		
Ｂ０１Ｄ　53/14　(2006.01)		Ｂ０１Ｄ	53/14	２１０	

審査請求　未請求　予備審査請求　未請求　（全40頁）

(21)出願番号　特願2023-538087(P2023-538087)
(86)(22)出願日　令和3年12月20日(2021.12.20)
(85)翻訳文提出日　令和5年8月17日(2023.8.17)
(86)国際出願番号　PCT/US2021/064358
(87)国際公開番号　WO2022/140260
(87)国際公開日　令和4年6月30日(2022.6.30)
(31)優先権主張番号　63/128,483
(32)優先日　令和2年12月21日(2020.12.21)
(33)優先権主張国・地域又は機関
米国(US)
(31)優先権主張番号　63/128,487
(32)優先日　令和2年12月21日(2020.12.21)
(33)優先権主張国・地域又は機関
米国(US)
(81)指定国・地域　AP(BW,GH,GM,KE,LR,LS,MW,MZ,NA
最終頁に続く

(71)出願人　515061156
ブルー プラネット システムズ コーポレーション
アメリカ合衆国 ９５０３２ カリフォルニア，ロス ガトス，スイート ２００ ユニバーシティー アベニュー ７１８
(74)代理人　100114557
弁理士　河野 英仁
(74)代理人　100078868
弁理士　河野 登夫
(72)発明者　コンスタンツ，ブレント アール．
アメリカ合衆国 ９５０３２ カリフォルニア，ロス ガトス，スイート エー，クーパー コート １００
(72)発明者　インカタシアト，ヨセフ
最終頁に続く

(54)【発明の名称】　硬化ＣＯ２隔離固体組成物の生成方法、それを実施するためのシステム、及びそこから生成された硬化ＣＯ２隔離固体組成物

(57)【要約】
硬化CO_2隔離固体組成物、例えば、沈殿物又は骨材組成物の生成方法が提供される。方法の態様は、初期CO_2隔離固体組成物を調製することと、次いで、初期組成物を、硬化CO_2隔離固体組成物を生成するために十分な硬化液と接触させることとを含む。また、方法を実行するためのシステム、及びそこから生成された硬化CO_2隔離固体組成物も提供される。

10

20

【特許請求の範囲】
【請求項１】
硬化CO_2隔離固体を生成する方法であって、
ａ）初期CO_2隔離固体組成物を調製することと、
ｂ）前記初期CO_2隔離固体組成物を、硬化CO_2隔離固体を生成するために十分な硬化液と接触させることと
を含む、方法。
【請求項２】
前記硬化液が、炭酸塩硬化液、重炭酸塩硬化液、リン酸塩硬化液、二価アルカリ土類金属硬化液、又は水道水を含む、請求項１に記載の方法。
【請求項３】
前記硬化液が、炭酸塩硬化液を含む、請求項２に記載の方法。
【請求項４】
前記炭酸塩硬化液が、炭酸ナトリウム（Na_2CO_3）、炭酸アンモニウム（$(NH_4)_2CO_3$）、又は炭酸カリウム（K_2CO_3）を含む、請求項３に記載の方法。
【請求項５】
前記硬化液が、重炭酸塩硬化液を含む、請求項２に記載の方法。
【請求項６】
前記重炭酸塩硬化液が、重炭酸ナトリウム（$NaHCO_3$）、重炭酸アンモニウム（NH_4HCO_3）、又は重炭酸カリウム（$KHCO_3$）を含む、請求項５に記載の方法。
【請求項７】
前記硬化液が、０．０５Ｍ～５Ｍの範囲の溶存無機炭素濃度を有する、請求項１～６のいずれか一項に記載の方法。
【請求項８】
前記硬化液が、リン酸塩硬化液を含む、請求項２に記載の方法。
【請求項９】
前記リン酸塩硬化液が、$H_2PO_4^-$、HPO_4^{2-}、及びPO_4^{3-}からなる群から選択されるリン酸アニオンを含む、請求項８に記載の方法。
【請求項１０】
前記硬化液が、二価アルカリ土類金属硬化液を含む、請求項２に記載の方法。
【請求項１１】
前記二価アルカリ土類金属硬化液が、カルシウム硬化液を含む、請求項１０に記載の方法。
【請求項１２】
前記カルシウム硬化液が、$CaCl_2$を含む、請求項１１に記載の方法。
【請求項１３】
前記硬化液が、水道水を含む、請求項２に記載の方法。
【請求項１４】
前記硬化液が、炭酸塩硬化液、重炭酸塩硬化液、リン酸塩硬化液、二価アルカリ土類金属硬化液、及び水道水からなる群から選択される２つ以上の硬化液の複合体を含む、請求項２に記載の方法。
【請求項１５】
前記硬化液が、５～１４の範囲のｐＨを有する、請求項１～１４のいずれか一項に記載の方法。
【請求項１６】
前記硬化液が、接触の少なくとも一部分の間、２０℃～５０℃の範囲の温度にある、請求項１～１５のいずれか一項に記載の方法。
【請求項１７】
前記接触が、１分～３０日間実行される、請求項１～１６のいずれか一項に記載の方法。

【請求項１８】
硬化が、前記初期CO_2隔離固体中の第１の結晶構造から、前記硬化CO_2隔離固体中の第２の結晶構造に変化する炭酸塩化合物をもたらす、請求項１～１７のいずれか一項に記載の方法。
【請求項１９】
前記炭酸塩化合物が、炭酸カルシウムであり、前記第１の結晶構造が、バテライト又は非晶質炭酸カルシウムであり、前記第２の結晶構造が、アラゴナイト又は方解石である、請求項１８に記載の方法。
【請求項２０】
前記初期CO_2隔離固体を調製することが、
（ｉ）炭酸塩捕捉液を生成するために十分な条件下で、水性捕捉液をガス状CO_2源と接触させることと、
（ｉｉ）前記初期CO_2隔離固体を生成するために十分な条件下で、カチオン源と前記炭酸塩捕捉液とを合わせることと
を含む、請求項１～１９のいずれか一項に記載の方法。
【請求項２１】
前記初期CO_2隔離固体組成物を調製することが、前記初期CO_2隔離固体を生成するために十分な条件下で、カチオン源を含む水性捕捉液をガス状CO_2源と接触させることを含む、請求項１～１９のいずれか一項に記載の方法。
【請求項２２】
前記水性捕捉液が、水性捕捉アンモニアを含み、前記初期CO_2隔離固体組成物を調製することは、水性アンモニウム塩の生成ももたらす、請求項２０又は２１に記載の方法。
【請求項２３】
前記水性アンモニウム塩から水性捕捉アンモニアを再生することを更に含む、請求項２２に記載の方法。
【請求項２４】
前記カチオン源が、二価アルカリ土類金属カチオンを含む、請求項２０～２３のいずれか一項に記載の方法。
【請求項２５】
前記二価アルカリ土類金属カチオンが、Ca^{2+}又はMg^{2+}である、請求項２４に記載の方法。
【請求項２６】
前記カチオン源が、遷移金属カチオンを含む、請求項２０～２３のいずれか一項に記載の方法。
【請求項２７】
前記遷移金属カチオンが、Ｍｎ、Ｆｅ、Ｎｉ、Ｃｕ、Ｃｏ、Ｚｎカチオンである、請求項２６に記載の方法。
【請求項２８】
初期水性液体中に、セメント、コンクリート、フライアッシュ、岩石、及びスチールスラグからなる群から選択される材料を少なくとも部分的に溶解させることによって、前記水性捕捉液を調製することを更に含む、請求項２０～２７のいずれか一項に記載の方法。
【請求項２９】
前記初期水性液体が、水性アンモニアを含む、請求項２８に記載の方法。
【請求項３０】
前記初期CO_2隔離固体組成物が、沈殿物を含み、前記方法が、硬化沈殿物組成物を生成する、請求項１～２９のいずれか一項に記載の方法。
【請求項３１】
前記硬化沈殿物組成物から骨材を生成することを更に含む、請求項３０に記載の方法。
【請求項３２】
前記初期CO_2隔離固体組成物が、初期骨材を含む、請求項１～２９のいずれか一項に

記載の方法。
【請求項３３】
前記硬化CO_2隔離固体を、各々が７５μｍ～１００，０００μｍの範囲の直径を有する複数の硬化形成骨材に形成することを更に含む、請求項１～３２のいずれか一項に記載の方法。
【請求項３４】
前記硬化CO_2隔離固体を、前記CO_2隔離固体から不純物を除去するために十分な様式で、蒸気と接触させることを更に含む、請求項１～３３のいずれか一項に記載の方法。
【請求項３５】
前記CO_2隔離固体が、１～６０分の範囲の期間の間、前記蒸気と接触する、請求項３４に記載の方法。
【請求項３６】
前記CO_2隔離固体が、０ｐｓｉｇ及び１００℃で前記蒸気と接触する、請求項３４又は３５に記載の方法。
【請求項３７】
前記CO_2隔離固体が、開放システム中で前記蒸気と接触する、請求項３６に記載の方法。
【請求項３８】
前記CO_2隔離固体が、閉鎖システム中で前記蒸気と接触する、請求項３４～３６のいずれか一項に記載の方法。
【請求項３９】
前記CO_2隔離固体が、大気圧よりも高い接触圧力で前記蒸気と接触する、請求項３８に記載の方法。
【請求項４０】
硬化CO_2隔離固体であって、
ａ）初期CO_2隔離固体組成物を調製するステップと、
ｂ）前記初期CO_2隔離固体組成物を炭酸塩硬化液と接触させて、硬化CO_2隔離固体を生成するステップと
を含むプロセスによって調製される、硬化CO_2隔離固体。
【請求項４１】
モース硬度スケールに従って２以上の硬度を有する、請求項４０に記載の硬化CO_2隔離固体。
【請求項４２】
前記硬化CO_2隔離固体を含有するコンクリート試験片が、ＡＳＴＭ　Ｃ３３０に従って、それぞれ２，５００ｐｓｉ～４，０００ｐｓｉ及び１００ｌｂ／ｆｔ^3～１１５ｌｂ／ｆｔ^{3}の範囲の平均２８日間の圧縮強度及び計算された平衡密度を有する、請求項４０又は４１に記載の硬化CO_2隔離固体。
【請求項４３】
結晶構造を有する、請求項４０～４２のいずれか一項に記載の硬化CO_2隔離固体。
【請求項４４】
アラゴナイト、方解石、又はそれらの組み合わせを含む、請求項４３に記載の硬化CO_2隔離固体。
【請求項４５】
７５μｍ～１００，０００μｍの範囲の直径を有する、請求項４０～４４のいずれか一項に記載の硬化CO_2隔離固体。
【請求項４６】
硬化CO_2隔離固体を生成するためのシステムであって、
初期CO_2隔離固体組成物調製モジュールと、
硬化モジュールと
を備える、システム。

【請求項４７】
前記硬化モジュールが、炭酸塩硬化液、重炭酸塩硬化液、リン酸塩硬化液、二価アルカリ土類金属硬化液、又は水道水を含む硬化液を含む、請求項４６に記載のシステム。
【請求項４８】
前記硬化液が、炭酸ナトリウム（Na_2CO_3）、炭酸アンモニウム（$(NH_4)_2CO_3$）、炭酸カリウム（K_2CO_3）、重炭酸ナトリウム（$NaHCO_3$）、重炭酸アンモニウム（NH_4HCO_3）、重炭酸カリウム（$KHCO_3$）、それらの組み合わせを含む、請求項４７に記載のシステム。
【請求項４９】
骨材組成物調製モジュールに水性捕捉アンモニアを供給するように構成された水性捕捉アンモニア再生モジュールを更に備える、請求項４６～４８のいずれか一項に記載のシステム。
【請求項５０】
前記水性捕捉アンモニア再生モジュールが、蒸留によって水性捕捉アンモニアを生成するように構成されている、請求項４９に記載のシステム。
【請求項５１】
前記水性捕捉アンモニア再生モジュールが、アンモニウム塩をアルカリ性源と接触させることによって水性捕捉アンモニアを生成するように構成されている、請求項４９又は５０に記載のシステム。
【請求項５２】
前記初期CO_2隔離固体組成物調製モジュールが、
CO_2ガス／水性液体接触器モジュールと、
固体炭酸塩生成モジュールと
を備える、請求項４６～５１のいずれか一項に記載のシステム。
【請求項５３】
前記初期CO_2隔離固体組成物調製モジュールが、CO_2ガスをカチオン源を含む水性液体と接触させ、固体炭酸塩を生成するように構成されたCO_2ガス／水性液体接触器モジュールを備える、請求項４６～５１のいずれか一項に記載のシステム。
【請求項５４】
前記初期CO_2隔離固体組成物調製モジュールが、煙道ガスの供給源に動作可能に結合されている、請求項４６～５３のいずれか一項に記載のシステム。
【発明の詳細な説明】
【背景技術】
【０００１】
二酸化炭素（CO_2）は、ガスとして地球の大気中に存在する天然に生じる化学化合物である。大気中のCO_2の供給源は様々であり、呼吸の過程でCO_2を生成するヒト及び他の生体、並びに火山、温泉、及び間欠泉などの他の天然に生じる供給源を含む。
【０００２】
大気中のCO_2の追加の主要な供給源としては、工業用プラントが挙げられる。多くの種類の工業用プラント（セメントプラント、製油所、製鉄所及び発電所を含む）は、化石燃料及び合成ガスなどの様々な炭素系燃料を燃焼する。使用される化石燃料としては、石炭、天然ガス、油、石油コークス及びバイオ燃料が挙げられる。燃料はまた、タールサンド、油頁岩、石炭液化油、並びに合成ガスを用いて製造される石炭ガス化及びバイオ燃料からも由来する。
【０００３】
CO_2の環境影響は、著しく関心が高い。CO_2は、一般的に温室効果ガスとみなされる。産業革命以降の人間の活動は、大気中CO_2の濃度を急速に増加させたため、人為的CO_2は、地球温暖化及び気候変動、並びに海洋中の重炭酸塩濃度の増加に関与してきた。化石燃料CO_2の海洋への取り込みは現在、１時間当たり約１００万メトリックトンのCO_2で進んでいる。

【０００４】
人為的気候変動及び海洋酸性化に対する懸念は、スケーラブルで費用対効果が高い二酸化炭素捕捉及び隔離（ＣＣＳ）方法を発見する緊急性を助長している。典型的には、ＣＣＳの方法は、複雑な煙流から純粋なCO_2を分離し、精製されたCO_2を圧縮し、最後にそれを地質学的隔離のために地下生理食塩水貯蔵庫に注入する。これらの複数のステップは非常にエネルギー集約的であり資本集約的である。
【発明の概要】
【０００５】
硬化CO_2隔離固体組成物、例えば、沈殿物又は骨材組成物の生成方法が提供される。方法の態様は、初期CO_2隔離固体組成物を調製することと、次いで、初期組成物を、硬化CO_2隔離固体組成物を生成するために十分な硬化液と接触させることとを含む。また、方法を実行するためのシステム、及びそこから生成された硬化CO_2隔離固体組成物も提供される。
【図面の簡単な説明】
【０００６】
本開示は、添付の図面を参照することによって、よりよく理解され得、その多数の特徴及び利点は、当業者に明らかにされ得る。図は、例示のみを目的として、本発明の様々な実施形態を示す。当業者は、以下の考察から、本明細書に示される構造及び方法の代替の実施形態が、本明細書に記載される本発明の原理から逸脱することなく採用され得ることを容易に認識する。異なる図面における同じ参照記号の使用は、同様の又は同一の項目を示す。
【０００７】
【図１】本発明の一実施形態による、耐久性があるCO_2隔離固体組成物、例えば、骨材組成物を生成するためのシステムを示す図である。
【図２】本発明の一実施形態による、CO_2隔離固体組成物、例えば、沈殿物組成物を硬化させる方法を示す図であり、破線は任意選択のステップを示している。
【図３Ａ】$CaCO_3$骨材の洗浄及び硬化の効果を示す図である。
【図３Ｂ】$CaCO_3$コーティングされた骨材の洗浄及び硬化の効果を示す図である。
【図４】元のスラリー（未洗浄）、洗浄及び凝集した骨材、並びに硬化後の最終骨材のＳＥＭ画像を示す図である。
【図５Ａ】古いスラリーに対する洗浄及び硬化の効果を示す図である。
【図５Ｂ】洗浄液中のナトリウム及びｐＨの効果を示す図である。
【図６】CO_2ガス吸収プロセスからスラリーを硬化させることによって、耐久性がある$CaCO_3$骨材及び砂を生成する方法の実施形態を示す図である。
【図７】スラリーが凝集することなく硬化される、スラリー硬化から作製された骨材の強度を示す図である。
【図８Ａ】硬化前にCO_2隔離固体を洗浄するための閉鎖蒸気処理システムを示す図である。
【図８Ｂ】硬化前にCO_2隔離固体を洗浄する開放蒸気処理システムを示す図である。
【発明を実施するための形態】
【０００８】
硬化CO_2隔離固体組成物、例えば、沈殿物又は骨材組成物の生成方法が提供される。方法の態様は、初期CO_2隔離固体組成物を調製し、次いで、硬化CO_2隔離固体組成物を生成するために十分な硬化液と初期組成物を接触させることを含む。また、方法を実行するためのシステム、及びそこから生成された硬化CO_2隔離固体組成物も提供される。
【０００９】
本発明がより詳細に説明される前に、本発明は、説明される特定の実施形態に限定されるものではなく、したがって、もちろん、変化し得ることが理解されるべきである。また、本発明の範囲は添付の特許請求の範囲によってのみ限定されるので、本明細書で使用される用語は、特定の実施形態を説明するためのものに過ぎず、限定することを意図するも

のではないことも理解されたい。

【００１０】

値の範囲が提供される場合、別段文脈が明らかに示さない限り、その範囲の上限と下限との間の下限の単位の１０分の１までの介在する各値、及び記述の範囲内の任意の他の記述の値又は介在する値が、本発明内に包含されることが理解される。これらのより小さな範囲の上限及び下限は、独立して、より小さな範囲に含まれ得、また、記述の範囲内の任意の特定の除外された制限に従うことを条件として、本発明内に包含される。記載された範囲が限定の一方又は両方を含む場合、それらの含まれる限定のいずれか又は両方を除外する範囲も、同様に本発明に含まれる。

【００１１】

数値に「約」という用語が先行するある特定の範囲が本明細書で提示される。「約」という用語は、本明細書では、それが先行する正確な数、並びにその用語が先行する数に近いか又はほぼそれである数に文字どおりの支持を提供するために使用される。ある数が、具体的に列挙された数に近いか又はほぼその数であるかを決定する際に、列挙されていない数に近いか又はほぼその数は、提示される文脈において、具体的に列挙された数の実質的な同等性を提供する数であり得る。

【００１２】

別途定義されない限り、本明細書で使用される全ての技術用語及び科学用語は、本発明が属する技術分野の当業者に一般に理解される意味と同じ意味を有する。また、本明細書に記載のものと同様の又は同等な任意の方法及び材料が、本発明の実施又は試験に使用され得るが、代表的な例示的な方法及び材料が以下に記載される。

【００１３】

本明細書で引用される全ての刊行物及び特許は、各個々の刊行物又は特許が、参照により組み込まれることが具体的かつ個々に示されたかのように、参照により本明細書に組み込まれ、引用される刊行物に関連する方法及び／又は材料を開示し説明するために参照により本明細書に組み込まれる。任意の刊行物の引用は、出願日以前のその開示についてのものであり、本発明が、先行発明の特色によってそのような刊行物に先行する権利がないことを認めるものとして解釈されるべきではない。更に、提供される刊行物の日付は、独立して確認する必要があり得る実際の刊行日とは異なる場合がある。

【００１４】

本明細書及び添付の特許請求の範囲で使用される場合、単数形の「ａ」、「ａｎ」、及び「ｔｈｅ」は、文脈が明らかに示さない限り、複数の指示物を含むことに留意されたい。特許請求の範囲は、あらゆる任意選択の要素を排除するように設計され得ることに更に留意されたい。したがって、この記述は、特許請求の要素の列挙に関連して「専ら」、「唯一の」などのような排他的な用語の使用又は「否定的な」制限の使用のための先行基準としての役割を果たすことを意図している。

【００１５】

本開示を読むと当業者には明らかであるように、本明細書に記載及び例示される個々の実施形態の各々は、本発明の範囲又は趣旨から逸脱することなく、他の一部の実施形態のいずれかの特徴から容易に分離され得るか、又はこれらと組み合わされ得る別個の構成要素及び特徴を有する。任意の列挙された方法は、列挙された事象の順序、又は論理的に可能な任意の他の順序で実行され得る。

【００１６】

装置及び方法は、文法的な流動性のために機能的説明とともに記述されてきた、又は記述されるが、米国特許法第１１２条に基づいて明確に記載されていない限り、特許請求の範囲は、必ずしも「手段」又は「ステップ」の限定の解釈によって限定されると解釈すべきではなく、法的均等論の下で特許請求の範囲によって提供される定義の意味及び等価物の完全な範囲を付与されるべきであり、特許請求の範囲が米国特許法第１１２条に基づいて明確に記載されている場合には、米国特許法第１１２条に基づく完全な法的等価物を付与されるべきであることを明確に理解されたい。

【００１７】
方法
上述のように、本発明の態様は、耐久性がある硬化CO_2隔離固体を生成する方法を含む。本明細書で使用される場合、「硬化」は、化合物の化学組成を変更することを意味する。一実施形態において、硬化は、初期CO_2隔離固体組成物（以下、「初期固体」とも称される）中の化合物を、第１の多形体から第２の多形体に変化させることを含む。したがって、いくつかの実施形態において、初期固体は、炭酸カルシウムの第１の多形体を含み、硬化ステップは、炭酸カルシウムの第１の多形体の一部又は全てを炭酸カルシウムの第２の多形体に変換する。「多形体」という用語は、同じ実験式を有するが、異なる結晶構造を有する化合物を指す。「実験式」は、分子中の原子の比を指し、例えば、水の実験式は、H_2Oである。方解石、アラゴナイト、及びバテライトは、全て$CaCO_3$の同じ実験式を有するため、炭酸カルシウム（$CaCO_3$）の多形体であるが、それらは、結晶構造が互いに異なっている。方解石、アラゴナイト、及びバテライトの結晶構造空間群は、それぞれＲ３ｃ、Ｐｍｃｎ、及び$P6_3/mmc$である。場合によっては、多形体は、非晶質であり、すなわち、固体は、結晶化されず、代わりに長距離秩序を欠く。例えば、固体は、非晶質炭酸カルシウムを含む場合がある。場合によっては、第１の結晶構造は、バテライト又は非晶質炭酸カルシウムであり、第２の結晶構造は、アラゴナイト又は方解石である。他の実施形態において、硬化は、第１の化合物を第２の化合物に変化させることを含み、すなわち、化合物の実験式は、硬化中に変化する。

【００１８】
図１は、初期CO_2隔離固体組成物１１０から固体組成物を隔離する耐久性があるCO_2を生成するためのシステム１００の実施形態を示す。システム１００は、複数のモジュールを含み、その各々は、いくつかの実施形態において、バッチ動作又は連続動作、すなわち、フロー動作のために独立して構成され得る。バッチ動作では、モジュール中で一定量の化合物を一緒に混合し、化合物を新しい化合物を添加せずに一定時間反応させ、次いで生成物をモジュールから除去する。例えば、硬化モジュールがバッチ動作のために構成されている場合、初期CO_2隔離固体組成物及び硬化液がモジュールに添加され、得られた硬化CO_2隔離固体は、追加の初期CO_2隔離固体組成物が添加される前にモジュールから除去される。連続動作又はフロー動作では、入力は、モジュールに連続的に流れ込み、出力は、モジュールから連続的に流れ出す。

【００１９】
いくつかの実施形態において、システム１００は、初期CO_2隔離固体組成物調製モジュール１０５を含む。場合によっては、モジュール１０５は、CO_2含有ガス１０２のための吸気、及び水性捕捉液１０４のための吸気、及び初期CO_2隔離固体組成物１１０のための出力を有する。モジュール１０５は、CO_2含有ガス１０２を水性捕捉液１０４及びカチオン源と接触させ、初期CO_2隔離固体組成物１１０を生成するように構成されている。場合によっては、この生成は、水性捕捉液が、ガス状CO_2源１０２と接触し、水性液体を生成するモジュール１０５の第１のセクション、及び水性液体が、カチオン源と接触し、初期CO_2隔離固体組成物１１０を生成するモジュール１０５の第２のセクションを含む。他の場合には、生成は、カチオン源を含む水性捕捉液１０４をガス状CO_2源１０２と接触させて、初期CO_2隔離固体組成物１１０を生成することを含む。そのような場合、カチオン源は、捕捉液がガス状CO_2源１０２と接触する前に、捕捉液１０４の一部である。

【００２０】
いくつかの実施形態において、初期CO_2隔離固体組成物１１０は、CO_2ガスが材料から容易に生成されず、大気中に放出されないように、相当量のCO_2を貯蔵安定な形式で貯蔵する組成物である。場合によっては、初期CO_2隔離固体組成物は、５質量％以上のCO_2、例えば、１０質量％以上、２５質量％以上、３０質量％以上、４０質量％以上、又は４５質量％以上のCO_2を含む。例えば、固体組成物１１０は、炭酸イオン（CO_3^{2-}）として貯蔵されたCO_2を含むことができる。言い換えると、固体組成物１１０

は、炭酸塩を含むことができる。初期CO_2隔離固体組成物１１０中の炭酸塩の量は、例えば、クーロメトリーによって決定される際に、１０％以上、例えば、２５％以上、５０％以上、６０％以上であり得る。場合によっては、CO_2は、アルカリ土類金属炭酸塩、例えば、炭酸カルシウム、炭酸マグネシウム、アルカリ土類金属炭酸塩、例えば、炭酸ナトリウム、炭酸カリウム、又はそれらの組み合わせとして貯蔵される。

【００２１】

初期CO_2隔離固体組成物１１０は、CO_2が材料中で隔離（すなわち、固定）されるような様式でCO_2の長期貯蔵を提供し、隔離されたCO_2は、大気の一部にならない。固体組成物がその意図された使用のための条件下で維持される場合、固体組成物１１０は、存在する場合、固体組成物１１０からのCO_2の有意な放出とともに、隔離されたCO_2を、１年以上、５年以上、１０年以上、２５年以上、又は５０年以上などの長期間固定したままにする。例えば、固体組成物１１０が、その意図された使用と一致する様式で維持される場合、固体組成物から放出されるCO_2ガスの量は、少なくとも１年、２年、５年、１０年、若しくは２０年、又は２０年を超える間、例えば、１００年を超える間、例えば、意図された使用のために、通常のｐＨの降雨を含む、通常の温度及び湿気の条件に曝露された場合、固体組成物中のCO_2の年間総量の１０％以下、例えば５％以下又は１％以下である。そのような安定性を合理的に予測することができる任意の好適な代理マーカー又は試験が使用され得る。例えば、高温及び／又は中程度からより極端なｐＨ条件の条件を含む加速試験は、長期間にわたる安定性を合理的に示すことができる。例えば、組成物の意図される使用及び環境に応じて、初期CO_2隔離固体組成物１１０の試料は、１日間、２日間、５日間、２５日間、５０日間、１００日間、２００日間、又は５００日間、１０％～５０％の相対湿度で５０℃、７５℃、９０℃、１００℃、１２０℃、又は１５０℃に曝露され得、その炭素の１％、２％、３％、４％、５％、１０％、２０％、３０％、又は５０％未満の損失は、所与の期間（例えば、１年、１０年、１００年、１０００年、又は１０００年超）の固体組成物の安定性の十分な証拠とみなされ得る。CO_2隔離材料は、成分が化石燃料起源であるか、又は現代の植物からであるかを識別する同位体プロファイルを有し得、両方とも、光合成中にCO_2を分画し、したがって、CO_2隔離である。例えば、いくつかの実施形態において、CO_2材料中の炭素原子は、材料を作製するために使用された化石又は現代ともに植物由来のCO_2が由来する化石燃料（例えば、石炭、石油、天然ガス、タール砂、樹木、草、農業植物）の相対的な炭素同位体組成（$\delta^{13}C$）を反映する。炭素同位体プロファイリングに加えて、又はその代わりに、酸素（$\delta^{18}O$）、窒素（$\delta^{15}N$）、硫黄（$\delta^{34}S$）、及び他の微量元素のものなどの他の同位体プロファイルを使用して、CO_2隔離材料が由来する工業用CO_2源を生成するために使用された化石燃料源を特定し得る。例えば、別の目的のマーカーは、（$\delta^{18}O$）である。本発明のCO_2隔離材料の識別子として用いられ得る同位体プロファイルは、米国特許第９，７１４，４０６号として発行された米国特許出願第１４／１１２，４９５号に更に記載されており、その開示は参照により本明細書に組み込まれる。

【００２２】

「初期CO_2隔離固体組成物」における「固体組成物」という用語は、物質の固体状態に１つ以上の化合物が存在することを意味する。言い換えると、初期CO_2隔離固体組成物１１０の少なくとも一部（全てではないが）は、固体の状態にある。場合によっては、固体組成物は、固体及び液体を含む。場合によっては、固体組成物は、固体を含むが、液体は含まず、すなわち、固体組成物は、乾燥固体を含む。場合によっては、初期CO_2隔離固体組成物は、上記のように、CO_2ガスが材料から容易に生成されず、大気中に放出されないように、相当量のCO_2を貯蔵安定な形式で貯蔵する固体を含む。場合によっては、固体組成物の固体は、化学反応によって形成される固体である「沈殿物」を含む。例えば、沈殿物は、CO_2隔離沈殿物であってもよく、例えば、炭酸塩化合物を含むことができる。例えば、ガス状CO_2がカチオン源を含む水溶液と接触する場合、１つの可能な生成物は、カチオン源とガス状CO_2との間の化学反応によって形成された炭酸塩化合物を含む固体粒子である。粒子は、CO_2とカチオン源との間の化学反応によって形成され

るため、本明細書ではそれらを沈殿物と称する。この沈殿物が固体のサイズ、形状、又は両方を変化させる物理的操作に供される場合、得られた固体は、「骨材」と称される。場合によっては、骨材は、沈殿物固体のサイズを増加させた操作、例えば、沈殿物と比較してより長い長さ、幅、高さ、直径、又はそれらの組み合わせを有する骨材から生じる固体である。場合によっては、沈殿物を骨材に形成することは、濾過による沈殿物からの水の分離などの成分の除去を含む。場合によっては、沈殿物を骨材に形成することは、結合化合物を添加するなどの成分の添加を含む。例えば、沈殿物をセメントと合わせて、コンクリート骨材を形成することができる。場合によっては、沈殿物は、硬化の前に骨材に形成され、場合によっては、沈殿物は、硬化の後に骨材に形成され、場合によっては、骨材は、形成されず、得られる硬化固体は、沈殿物である。

【００２３】

初期CO_2隔離固体組成物１１０は、任意の好都合なプロトコルを使用して調製されてもよい。実施形態において、プロトコルは、初期CO_2隔離固体組成物を生成するプロセスで、人為的CO_2などのCO_2の供給源を用いることを含む。例えば、$CO_2$１０２は、炭酸塩化合物、すなわち、炭酸塩イオン（CO_3^{2-}）を含む化合物に化学的に変換することができる。炭酸塩化合物としては、限定されないが、カルシウム、マグネシウム、ナトリウム、カリウム、硫黄、ホウ素、シリコン、ストロンチウム、及びそれらの組み合わせのイオン種など多くの異なるカチオンが挙げられ得る。対象となるものは、カルシウム及びマグネシウムの炭酸塩化合物などの二価金属カチオンの炭酸塩化合物である。対象となる特定の炭酸塩化合物としては、限定されないが、炭酸カルシウム鉱物、炭酸マグネシウム鉱物及び炭酸カルシウムマグネシウム鉱物が挙げられる。対象となる炭酸カルシウム鉱物としては、限定されないが、方解石（$CaCO_3$）、アラゴナイト（$CaCO_3$）、バテライト（$CaCO_3$）、イカイト（$CaCO_3 \cdot 6H_2O$）、及び非晶質炭酸カルシウム（$CaCO_3$）が挙げられる。対象となる炭酸マグネシウム鉱物としては、限定されないが、マグネサイト（$MgCO_3$）、バリントナイト（$MgCO_3 \cdot 2H_2O$）、ネスクオナイト（$MgCO_3 \cdot 3H_2O$）、ランフォーディット（$MgCO_3 \cdot 5H_2O$）、ヒドロマグネサイト、及び非晶質炭酸マグネシウムカルシウム（$MgCO_3$）が挙げられる。対象となる炭酸カルシウムマグネシウム鉱物としては、限定されないが、ドロマイト（$CaMg(CO_3)_2$）、ハンチ酸塩（$Mg_3Ca(CO_3)_4$）及びセルジエビト（$Ca_2Mg_{11}(CO_3)_{13} \cdot H_2O$）が挙げられる。生成物の炭酸塩化合物は、１つ以上の水和水を含み得るか、又は無水であり得る。いくつかの場合において、沈殿物中の炭酸マグネシウム化合物の量は、沈殿物中の炭酸カルシウム化合物の量を超える。例えば、沈殿物中の炭酸マグネシウム化合物の重量は、沈殿物中の炭酸カルシウム化合物の重量を５重量％以上、例えば、１０重量％以上、１５重量％以上、２０重量％以上、２５重量％以上、３０重量％以上を超え得る。いくつかの場合において、沈殿物中の炭酸マグネシウム化合物対炭酸カルシウム化合物の重量比は、１．５～５：１、例えば２～３：１を含む２～４：１の範囲である。いくつかの場合において、沈殿生成物は、水酸化物、例えば、二価金属イオン水酸化物、例えば、水酸化カルシウム及び／又は水酸化マグネシウムを含み得る。

【００２４】

例示的な炭酸塩化合物としては、式MCO_3の化合物が挙げられ、式中、Ｍは、二価正イオン、例えば、Ca^{2+}又はMg^{2+}などのアルカリ土類金属カチオンである。他の場合において、炭酸塩化合物は、式M_2CO_3を有し、式中、各Ｍは、独立して、一価正イオン、例えば、Na^+若しくはK^+などのアルカリ金属カチオン、又はアンモニウムカチオン（NH_4^+）である。場合によっては、$CO_2$１０２は、重炭酸塩化合物、すなわち、重炭酸塩イオン（HCO_3^-）を含む化合物に化学的に変換される。例えば、重炭酸塩化合物は、式$MHCO_3$を有することができ、式中、Ｍは、一価正イオン、例えば、Na^+若しくはK^+などのアルカリ金属カチオン、又はアンモニウムカチオン（NH_4^+）である。場合によっては、$CO_2$１０２は、炭酸イオンと重炭酸イオンとの混合物に変換される。言い換えると、初期CO_2隔離固体組成物１１０は、１つ以上の炭酸塩化合物と１

つ以上の重炭酸塩化合物との混合物を含む。

【００２５】

化学反応を受けるＣＯ$_2$１０２は、任意の好適な物質状態、例えば、ガス状ＣＯ$_2$又は水（ＣＯ$_2$（ａｑ））などの液体中に溶解したＣＯ$_2$であり得る。いくつかの実施形態において、ＣＯ$_2$１０２の供給源は、純粋なＣＯ$_2$であり得るか、又はＣＯ$_2$を含む多成分ガス（すなわち、多成分ガス流）であり得る。例えば、ガス源は、燃焼副生成物ガスの一部としてＣＯ$_2$１０２を提供する燃焼モジュールであり得る。場合によっては、多成分ガスは、煙道ガスである。対象となる廃棄物流は、工業用プラント排ガス、例えば、燃焼排ガスである。「燃焼排ガス」とは、化石燃料又はバイオマス燃料の燃焼による燃焼生成物から得られるガスを意味し、その後、工業用プラントの煙道としても知られる煙突に送られる。ある特定の実施形態において、ＣＯ$_2$含有ガス１０２は、例えば、ＣＯ$_2$含有ガス１０２が工業用プラントからの廃棄物供給物である工業用プラントから得られる。ＣＯ$_2$含有ガス１０２が、例えば、工業用プラントからの廃棄物供給物として得られ得る工業用プラントは、変化し得る。対象となる工業用プラントとしては、限定されないが、発電所及び工業製品製造プラント、例えば、限定されないが、化学及び機械加工プラント、製油所、セメントプラント、鋼プラントなど、並びに燃料燃焼又は他の加工ステップ（セメントプラントによる焼成など）の副生成物としてＣＯ$_2$を生成する他の工業用プラントが挙げられる。対象となる廃棄物供給物としては、例えば、工業用プラントによって行われるプロセスの二次的又は付随的な生成物として、工業用プラントによって生成されるガス流が挙げられる。

【００２６】

場合によっては、初期ＣＯ$_2$隔離固体組成物１１０の生成は、炭酸塩中間体を通して媒介される。例えば、場合によっては、ＣＯ$_2$ガス１０２は、ＣＯ$_2$の大部分が重炭酸塩とは対照的に炭酸塩になるように、捕捉液と接触する。例えば、炭酸塩に対する優先傾向は、より高いｐＨを有することによって達成することができる。次いで、カチオン中間体を添加して、炭酸水溶液を固体炭酸塩に変換することができる。炭酸塩媒介生成プロトコルに関する更なる詳細は、米国特許第７，７４４，７６１号、同第７，７７１，６８４号、同第７，８２９，０５３号、同第７，９１４，６８５号、同第７，９２２，８０９号、同第７，９３１，８０９号、同第７，９３９，３３６号、同第８，００６，４４６号、同第８，０６２，４１８号、同第８，１１４，２１４号、同第８，１３７，４５５号、及び同第８，１７７，９０９号に記載されており、これらの開示は参照により本明細書に組み込まれる。

【００２７】

場合によっては、ＣＯ$_2$ガス１０２は、捕捉液１０４と接触して、炭酸塩とは対照的に、ＣＯ$_2$の大部分が重炭酸塩になる、液体を含有する重炭酸塩を生成する。次いで、２モルの重炭酸塩が１モルの炭酸塩固体及び１モルのＣＯ$_2$ガスを形成するように、捕捉液体をカチオン源と接触させる。これにより、カチオン源を添加する前に、例えば、ｐＨを上昇させることによって、重炭酸塩を炭酸塩に変換する必要なしに、ＣＯ$_2$を隔離することが可能になる。重炭酸塩媒介プロセスは、カチオン源がＣＯ$_2$ガス１０２と接触するときに既に捕捉液の一部であるときにも実行することができる。上記のような重炭酸塩媒介生成方法に関する追加の詳細は、米国特許第７，８１５，８８０号、同第８，１７７，９０９号、同第８，３３３，９４４号、同第９，７０７，５１３号、同第９，７１４，４０６号、同第９，９９３，７９９号、同第１０，１９７，７４７号、同第１０，７１１，２３６号、同第１０，３２２，３７１号、及び同第１０，７６６，０１５号、並びにＰＣＴ特許公開第２０１６／１６０６１２号、同第２０１８／１６０８８８号、及び同第２０２０／０４７２４３号に見出され、これらの開示は、参照により本明細書に記載される。

【００２８】

いくつかの実施形態において、水性捕捉液１０４は、炭酸アンモニウム水溶液を生成するために水性捕捉アンモニアを含む。水性アンモニウム炭酸塩は変化してもよく、いくつかの場合において、水性アンモニウム炭酸塩は、炭酸アンモニウム及び重炭酸アンモニウ

ムのうちの少なくとも１つを含み、いくつかの場合において、炭酸アンモニウム及び重炭酸アンモニウムの両方を含む。水性捕捉液１０４が水性捕捉アンモニアを含む場合、この液体１０４をカチオン源と接触させると、初期CO_2隔離固体組成物１１０が生成される。そのようなアンモニア媒介生成プロトコルに関する更なる詳細は、米国特許第１０，３２２，３７１号に見出され、その開示は、参照により本明細書に組み込まれる。

【００２９】

いくつかの実施形態において、CO_2含有ガス１０２と接触する捕捉液１０４の温度は、変化し得る。いくつかの場合において、温度は、２０～８０℃などの－１．４～１００℃の範囲であり、４０～７０℃を含む。いくつかの場合において、温度は、－１．４～５０℃以上、例えば、－１．１～４５℃以上の範囲であり得る。いくつかの場合において、より低い温度が使用され、かかる温度は、－１．１～０℃などの－１．４～４℃の範囲であり得る。いくつかの場合において、より高い温度が使用される。例えば、いくつかの場合において、捕捉液１０４の温度は、２５℃以上、例えば３０℃以上であってもよく、いくつかの実施形態において、２５～５０℃、例えば３０～４０℃の範囲であってもよい。

【００３０】

いくつかの実施形態において、CO_2含有ガス１０２及び捕捉液１０４を、所望のCO_2荷電液体の生成に好適な圧力で接触させる。いくつかの場合において、接触条件の圧力は、最適なCO_2吸収を提供するように選択され、かかる圧力は、１～５０気圧、例えば、２０～３０気圧、又は１気圧～１０気圧など、１気圧～１００気圧の範囲であり得る。接触が自然に１気圧である場所で生じる場合、圧力は、任意の好都合なプロトコルを使用して所望の圧力に増加され得る。いくつかの場合において、接触は、最適圧力が存在する場所、例えば、海洋又は海などの水体の表面下の位置で、生じる。いくつかの場合において、CO_2含有ガス１０２とアルカリ水性媒体１０４との接触は、水の表面（例えば、海洋の表面）の下の深さで生じ、深さは、いくつかの場合において、１０～１０００メートル、例えば１０～１００メートルの範囲であり得る。いくつかの場合において、CO_2含有ガス１０２及びCO_2捕捉液１０４は、CO_2含有ガス中の他のガス、例えばN_2などに対して、ガスからのCO_2の選択的吸収を提供する圧力で接触する。これらの例では、CO_2含有ガス１０２と捕捉液１０４とが接触する圧力は、１～１００大気圧（ａｔｍ）、例えば１～１０ａｔｍ、及び２０～５０ａｔｍを含む範囲で変化し得る。

【００３１】

中間体の形成後、１つ以上の試薬を中間体と反応させ、それによって、初期CO_2隔離固体組成物１１０のCO_2隔離固体を生成する。いくつかの実施形態において、CO_2の隔離を引き起こす試薬は、任意の好適な物質状態、例えば、水、ガス、固体、又は液体などの液体中に溶解され得る。場合によっては、これらの試薬は、中間体をCO_2隔離化合物に変換するカチオンを提供する。例えば、試薬は、二価カチオン、例えば、重炭酸塩又は炭酸塩イオンを含む中間体と相互作用して、CO_2隔離化合物、例えば、炭酸カルシウム又は炭酸マグネシウムなどの二価カチオン炭酸塩化合物を形成することができる、Ca^{2+}又はMg^{2+}などのアルカリ土類金属カチオンを含む場合がある。場合によっては、試薬は、中間体と接触する液体のｐＨを修飾する。例えば、試薬は、中間化合物、例えば重炭酸塩化合物の、CO_2隔離化合物である炭酸塩化合物への変換を引き起こし得る捕捉液のｐＨを上昇させることができる。

【００３２】

場合によっては、試薬は、二価カチオンを供給するとともに、捕捉液のｐＨも上昇させる。場合によっては、試薬は、二価アルカリ土類金属カチオン、例えば、Ca^{2+}及びMg^{2+}を含む。例えば、試薬は、水酸化カルシウム（$Ca(OH)_2$）又は水酸化マグネシウム（$Mg(OH)_2$）を、固体$Ca(OH)_2$（ｓ）及び$MgCl_2$（ｓ）、又は水性液体$Ca(OH)_2$（ａｑ）及び$MgCl_2$（ａｑ）のいずれかとして含むことができ、これは、捕捉液のｐＨを上昇させることができ、それによって炭酸イオンに有利になり、また炭酸塩と相互作用してCO_2隔離炭酸塩化合物を形成することができる。

【００３３】

場合によっては、試薬は、遷移金属カチオン、例えば、Ｍｎ、Ｆｅ、Ｎｉ、Ｃｕ、Ｃｏ、又はＺｎなどの４周期遷移金属カチオンを含む。いくつかの実施形態において、遷移金属カチオンは、例えば、$MnCO_3$、$FeCO_3$、$NiCO_3$、$CuCO_3$、$CoCO_3$、$ZnCO_3$として、CO_2隔離固体中の遷移金属炭酸塩の一部となる。場合によっては、遷移金属は、顔料の一部、すなわち、CO_2隔離固体に、遷移金属炭酸塩を有さない参照固体とは異なる色をもたらす色付与化合物である。遷移金属化合物を有する固体は、任意の色、例えば、赤色、オレンジ色、茶色、黄色、緑色、青色、青色、紫色、マゼンタ色、黒色、灰色、又は白色を有することができる。例えば、顔料製品の生成における遷移金属カチオンの使用に関する更なる詳細は、米国特許第１０，２８７，４３９号において提供され、その開示は、参照により本明細書に組み込まれる。

【００３４】

例として、モジュール１０５において、捕捉液１０４及びガス状$CO_2$１０２は、液体－ガス接触器と接触し、炭酸カルシウム（$CaCO_3$）として識別される固体沈殿物が形成される。

【００３５】

システム１００は、脱水及び洗浄された固体組成物１２５を生成するために、初期CO_2隔離固体組成物１１０を脱水し、すすぎ液１１５で洗浄するか、又はすすぐためのすすぎステーション１２０を含む。すすぎ液１１５は、所望に応じて変化してもよく、いくつかの実施形態において、すすぎ液１１５は、硬化液１４５又はすすぎ液１６５と同じである。洗浄は、以下に記載されるような固体／液体接触プロトコルなどの任意の好都合なプロトコルを使用して達成され得る。

【００３６】

システム１００は、洗浄された固体組成物１２５を骨材１３５に成形し、形成するための骨材生成モジュール１３０を含む。いくつかの実施形態において、骨材生成モジュール１３０中の洗浄された固体組成物１２５の成形は、機械的方法を使用して骨材１３５を形成し得る。他の実施形態において、骨材生成モジュール１３０中の洗浄された固体組成物１２５の成形は、機械的方法と印加された熱との組み合わせを使用して、骨材１３５を形成し得る。例えば、一実施形態において、骨材生成モジュール１３０は、洗浄された固体組成物１２５が最初にピンミキサーによって成形され、次いで回転ドラムに供給され、そこで、熱の存在下で短時間混転して骨材１３５を得、次いで硬化モジュール１４０に入るように構成されている。

【００３７】

硬化モジュール１４０は、固体組成物１２５に接触するように構成され得、これは、硬化液１４５と（例えば、上記のように）固化され得、それによって、硬化CO_2隔離固体１５０を生成し得る。硬化とは、２つの元素が化学的に相互作用し、固体組成物を硬化させることができるように、互いに物理的に近接して入れることを意味する。

【００３８】

場合によっては、硬化モジュール１４０は、固体組成物１２５に硬化液を噴霧するためのノズルを有する。場合によっては、硬化モジュール１４０は、固体組成物１２５を硬化液１４５に沈めるように構成されている。場合によっては、硬化モジュール１４０は、硬化モジュール１４０のリザーバ内に配置された硬化液１４５を含む。硬化モジュール１４０のリザーバ内に配置された硬化液１４５は、上記の特性のいずれかを有することができる。

【００３９】

場合によっては、硬化モジュール１４０は、固体組成物１２５を１分～５０日、例えば１時間～４０日、例えば１日～３０日、又は７日～２１日の範囲の期間硬化するように構成されている。場合によっては、硬化モジュール１４０は、硬化液１４５の温度を、例えば、３０℃～５０℃以上、例えば、８０℃まで上昇させるためのヒーターを含む。場合によっては、硬化モジュール１４０は、硬化液１４５が、３０℃～５０℃を含む１７℃～５０℃、例えば、２０℃～５０℃などの１５℃～８０℃の範囲の温度にあり、いくつかの場

合において、この範囲は、硬化の少なくとも一部分の間、例えば、硬化の全期間、１７℃～２５℃であるように構成されている。このように、硬化モジュール１４０は、硬化液１４５及び骨材１３５を加熱するように構成されたヒーターを有することができる。

【００４０】

いくつかの実施形態において、硬化液１４５は、固体組成物１２５と接触させることができ、それによってそれを硬化させ、硬化CO_2隔離固体組成物１５０を生成することができる組成物である。いくつかの実施形態において、硬化モジュール１４０は、所望に応じて、単一の硬化ステップ、又は２つ以上の異なる硬化ステップを含む。複数の硬化ステップが用いられる場合、複数のステップの各々に用いられる硬化液１４５は、同じであっても異なってもよい。このように、いくつかの場合において、固体組成物１２５は、同じ硬化液１４５で複数の硬化ステップに供される。他の例では、固体組成物１２５は、異なる硬化液１４５で複数の硬化ステップに供される。

【００４１】

「硬化液」１４５における「液体」という用語は、硬化組成物が、物質、例えば、水の液体状態にある化合物を含むことを意味する。例えば、硬化液１４５は、水が硬化液中に存在する最も豊富な化合物であるように、水性液体であり得る。場合によっては、硬化液１４５は、水性硬化液の水中に溶解した任意の化合物を実質的に含まないか、又は完全に含まない。他の実施形態において、硬化液１４５は、水及び水中に溶解した化合物を含み、すなわち、硬化液は、溶媒中に溶解した溶質を含む溶液である。場合によっては、硬化液１４５は、また、固体状態の化合物、すなわち、液体中に溶解されていない固体化合物を含む。いくつかの実施形態において、硬化液１４５は、エマルションであり、すなわち、それは、通常、２つの不混和層を形成する２つ以上の液体の混合物であるが、乳化剤の添加は、２つの層を融合して単一の層を形成させる。

【００４２】

場合によっては、硬化液１４５は、所望の硬化組成物を生成するために十分な溶存無機炭素濃度を有する。溶存無機炭素（ＤＩＣ）とは、炭酸イオン（CO_3^{2-}）、重炭酸イオン（HCO_3^-）、及び液体中に溶解したCO_2を指す。いくつかの場合において、硬化液１４５は、０．０１Ｍ～１０Ｍ、例えば、０．０５Ｍ～５Ｍ、０．１Ｍ～４Ｍ、又は０．５Ｍ～３Ｍの範囲のＤＩＣを有する。例えば、硬化液１４５が、１Ｍの炭酸イオン、０．２Ｍの炭酸水素イオン、及び０．１Ｍの溶存CO_2を含む場合、溶存無機炭素濃度は、１．３Ｍとなる。場合によっては、硬化液１４５は、０．０１Ｍ～１０Ｍ、例えば、０．０５Ｍ～５Ｍ、０．１Ｍ～４Ｍ、又は０．５Ｍ～３Ｍの範囲の正イオンの濃度を有し、例えば、正イオンは、Na^+、K^+、及びNH_4^+からなる群から選択される。例えば、場合によっては、硬化液１４５は、０．５Ｍ～５Ｍの範囲のNa^+イオンの濃度を有する。

【００４３】

いくつかの場合において、硬化液１４５は、固体化合物の硬化液１４５への一時的な溶解を可能にし、続いて、これらの化合物を固体状態に戻すが、第２の結晶構造に遷移させる。場合によっては、硬化液１４５は、第１の結晶構造の形成よりも第２の結晶構造の形成を好む。いくつかの実施形態において、硬化液１４５は、初期CO_2隔離組成物中にも存在するイオン、例えば、炭酸塩を含む。溶解度の制限により、硬化液１４５中のこのイオンの存在は、望ましくないほど多量の初期CO_2隔離組成物１１０が硬化液１４５中に溶解し、硬化液１４５中に残留することを防止する助けとなり得る。言い換えると、この一般的なイオンの存在は、化合物を固体状態に戻すが、第２の結晶構造中に遷移させることを有利にし得る。他の場合では、硬化液１４５は、第１の結晶構造中の固体と直接相互作用し、硬化液に溶解することなく、それを第２の結晶構造に変化させることができる。

【００４４】

「硬化」とは、化合物の化学組成を変更させることを意味する。場合によっては、硬化モジュール１４０は、固体組成物１２５に、例えば、結晶構造の変化による、硬化前の組成物と比較して、所望の特性の増加をもたらす。例えば、場合によっては、固体組成物１

２５は、例えば、方法で使用されるカチオン源がCa^{2+}イオンであるときに、炭酸カルシウム（$CaCO_3$）を含む。炭酸カルシウムは、非晶質炭酸カルシウム、アラゴナイト、方解石、及びバテライトを含む多くの既知の多形体を有する。場合によっては、硬化固体組成物１５０は、結晶構造を有し、すなわち、それは非晶質ではない。場合によっては、硬化固体組成物１５０は、アラゴナイト、方解石、又はそれらの組み合わせの形態の炭酸カルシウムを含む。

【００４５】

他の実施形態において、硬化は、硬化液１４５が初期CO_2隔離固体組成物１１０のｐＨを変化させるために起こる。言い換えると、硬化液１４５は、初期CO_2隔離固体組成物１１０内の化合物のプロトン化又は脱プロトン化を引き起こすｐＨを有することができる。場合によっては、硬化プロセスは、初期CO_2隔離固体組成物１１０のいくつかの固体化合物が硬化液１４５中に溶解し、それによって隔離固体からそれらを分離するために起こる。硬化液１４５は、また、硬化液１４５中に溶解されることから固体状態に遷移する化合物を含有し、それによって隔離固体の一部となり得る。

【００４６】

硬化液１４５は、Na^+などのアルカリ金属イオンとHCO_3^-及びCO_3^{2-}などの溶存無機炭素に対するアンモニウムイオンとのモル比によっても説明することができる。例えば、硬化液１４５が１Ｍの炭酸ナトリウムを有する場合、ナトリウムイオンの濃度は、２Ｍであり、炭酸イオンの濃度は、１Ｍであり、モル比は、２である。異なる例では、硬化液１４５が１Ｍの重炭酸ナトリウムを有する場合、ナトリウムイオンの濃度は、１Ｍであり、重炭酸塩の濃度は、１Ｍであり、モル比は、１である。加えて、場合によっては、硬化液１４５は、炭酸塩及び重炭酸塩化合物、例えば、１Ｍの重炭酸ナトリウム及び１Ｍの炭酸ナトリウムの組み合わせを有する。そのような場合、硬化液１４５は、３Ｍのナトリウムイオン及び２Ｍの溶存無機炭素を有し、モル比は、１．５である。したがって、場合によっては、アルカリ金属カチオンと溶存無機炭素に対するアンモニウムイオンとのモル比は、１～３、例えば、１．２５～２．７５、１．５～２．５、又は１．７５～２．２５の範囲である。２を上回るモル比は、非溶存無機炭素化合物の添加によって引き起こされ得る。例えば、１Ｍの炭酸ナトリウム及び１Ｍの水酸化カリウム（ＫＯＨ）は、溶存無機炭素に対するアルカリ金属イオンのモル比に対して３の比をもたらす。

【００４７】

場合によっては、硬化液１４５は、炭酸塩硬化液を含み、すなわち、液体は、炭酸塩イオン（CO_3^{2-}）を有する炭酸塩化合物、重炭酸塩イオンを含む重炭酸塩化合物（HCO_3^{2-}）、又はその両方を含む。場合によっては、炭酸塩化合物は、式M_2CO_3を有し、式中、Ｍは、一価正イオン、例えば、アルカリ金属カチオンである。例えば、炭酸塩化合物は、炭酸ナトリウム（Na_2CO_3）、炭酸アンモニウム（$(NH_4)_2CO_3$）、又は炭酸カリウム（K_2CO_3）であり得る。場合によっては、硬化液１４５は、例えば、式$MHCO_3$の重炭酸塩化合物を含み、Ｍは、一価の位置のイオン、例えば、アルカリ金属カチオンである。重炭酸塩化合物の例としては、重炭酸ナトリウム（$NaHCO_3$）、重炭酸アンモニウム（NH_4HCO_3）、及び重炭酸カリウム（K_2HCO_3）が挙げられる。

【００４８】

いくつかの場合において、硬化液１４５は、リン酸塩硬化液であり、すなわち、リン酸塩化合物を含み得る。本明細書で使用される場合、「リン酸塩」は、リン原子に結合した４つの酸素原子を含む化合物、すなわち、リン酸塩基を含む化合物を指す。場合によっては、リン酸化合物は、式$PO_4R^1R^2R^3$を有し、式中、R^1、R^2、及びR^3は、各々独立して、水素又は負電荷である。R^1、R^2、及びR^3が全て水素原子である場合、化合物は、H_3PO_4であり、これは本明細書ではリン酸と称される。R^1及びR^2が水素であり、R^3が負電荷である場合、得られる化合物は、$H_2PO_4^-$であり、これは、本明細書ではリン酸二水素イオンと称され、硬化液は、アルカリ金属カチオン、例えば、Na^+又はK^+などの対応する正イオンを有する。R^1が水素であり、R^2及びR^3が負

電荷である場合、得られる化合物は、HPO_4^{2-}であり、これは、本明細書ではリン酸水素イオンと称され、硬化液は、対応する正イオン又は１つ若しくは複数のイオンを有する。R^1、R^2、及びR^3が全て負電荷である場合、化合物は、PO_4^{3-}であり、これは、本明細書ではリン酸イオンと称され、硬化液は、対応する正イオン又は１つ若しくは複数のイオンを有する。リン酸塩硬化液はまた、ポリリン酸塩基、すなわち、各々が４つの酸素原子に結合している２つ以上のリン原子を有する基を含むことができ、酸素原子のうちの１つが２つのリン原子に結合している。例示的なポリリン酸化合物は、式ＨＯ－（PO_3H）$_n$－Ｈを有するポリリン酸であり、式中、ｎは、２以上、例えば、２～１０，０００の整数である。場合によっては、ポリリン酸塩は、脱プロトン化され、すなわち、水素原子のうちの１つ以上が負電荷で置き換えられ、硬化液１４５は、対応する正イオン、例えば、Na^+及びK^+などのアルカリ金属カチオンを含む。場合によっては、リン酸化合物は、有機リン酸化合物であり、すなわち、式$PO_4R^1R^2R^3$を有し、式中、R^1、R^2、及びR^3は、各々独立して、水素、炭化水素基、又は負電荷であり、R^1、R^2、及びR^3のうちの少なくとも１つは、炭化水素基である。

【００４９】

場合によっては、硬化液１４５は、二価アルカリ土類金属、例えば、カルシウム、マグネシウムなどであり、カルシウム硬化液などの硬化液、すなわち、それは、二価アルカリ土類金属イオン、例えば、カルシウムイオン（Ca^{2+}）マグネシウムイオン（Mg^{2+}）などを含むことができる。いくつかの場合において、二価アルカリ土類金属、例えば、カルシウムの硬化液は、０．０２Ｍ～０．２Ｍ、又は０．０９Ｍ～０．９Ｍなどの０．０１Ｍ～１．０Ｍの範囲の二価アルカリ土類金属、例えば、カルシウムのイオン濃度を有する。そのような硬化液は、それらが二価アルカリ土類イオンの供給源を提供する限り、所望により変化してもよく、そのような硬化液の例としては、限定されないが、$CaCl_2$、$MgCl_2$などが挙げられる。硬化液１４５がカルシウム硬化液である場合によっては、カルシウム硬化液は、Ca^{2+}及びＤＩＣで過飽和され、追加のCO_2隔離固体１１０が形成される。

【００５０】

場合によっては、硬化液１４５は、水道水を含み、すなわち、硬化液は、地方自治体の給水から得られた水を含む。「地方自治体の給水」という用語は、ヒトが飲むことが安全であるとみなされ、１００以上の企業又は家庭などの２つ以上の企業又は家庭にパイプによって送達される飲用水（すなわち、飲料水）を指す。例えば、地方自治体の給水は、湖又は川などの水域から水を得て、任意選択で水を処理し、次いでそれを家庭及び企業に配給することができる。水は、時々、微生物を殺し、固体微粒子を除去し、パイプの腐食を抑制する化合物を添加し、水を飲むヒトの虫歯を抑制する化合物、又はそれらの組み合わせを添加するように処理される。硬化液１４５は、排他的に水道水を含むことができ、又は硬化液は、他の化合物、例えば、上記の重炭酸塩化合物、炭酸塩化合物、若しくはリン酸塩化合物、又はそれらの組み合わせと混合された水道水を含むことができる。場合によっては、水道水は、塩分、すなわち、水中に溶解した塩の量を、０千分率（ｐｐｔ）～５ｐｐｔ（体積当たりの質量）、例えば０ｐｐｔ～２ｐｐｔ、又は０ｐｐｔ～１ｐｐｔの範囲で有する。場合によっては、水道水は、水道水の配布を管轄する政府によって確立された許容可能な飲料水の要件を満たしている。例えば、米国環境保護庁（ＥＰＡ）は、約９０の汚染物質の最大許容レベルを記載した全国一次飲料水規制を発表した。例えば、この規制の２０１６年版では、最大汚染レベル（ＭＣＬ）は、ベンゼンの場合は０．００５ｍｇ／Ｌ、フッ化物の場合は４．０ｍｇ／Ｌ、「ベータフォトンエミッタ」の場合は年間４ミリレム、カドミウムの場合は０．００５ｍｇ／Ｌに設定されている。別の例として、欧州連合は、１９９８年に飲料水指令（指令９８／８３／ＥＣ）を発行し、様々な汚染物質の最大許容レベル、例えばベンゼンの場合は０．００１ｍｇ／Ｌ、フッ化物の場合は１．５ｍｇ／Ｌを記載している。

【００５１】

場合によっては、硬化液１４５は、上述の硬化液のいずれかの組み合わせ、すなわち、

重炭酸塩硬化液、炭酸塩硬化液、リン酸塩硬化液、アルカリ土類金属、例えば、カルシウム、硬化液及び水道水、又はそれらの任意の複合体の組み合わせで構成された複合硬化液を含む。

【００５２】

場合によっては、硬化液１４５のｐＨが硬化プロセスに影響を与える。言い換えると、硬化液１４５は、初期CO_2隔離固体組成物内の化合物のプロトン化又は脱プロトン化を引き起こすｐＨを有することができる。場合によっては、硬化液１４５のｐＨは、水酸化ナトリウム若しくは水酸化カリウムなどのアルカリ金属水酸化物、水酸化カルシウム若しくは水酸化マグネシウムなどのアルカリ土類金属水酸化物、又はそれらの組み合わせの添加によって上昇する。場合によっては、硬化液１４５は、５～１４、例えば、６～１４、７～１４、８～１４、９～１４、又は１０～１４の範囲のｐＨを有する。

【００５３】

いくつかの実施形態において、硬化モジュール１４０は、固体組成物１２５が乾燥することを防止するために、一定量の湿度を維持するために、気泡又はバッグなどのチャンバ（図示せず）を含む。

【００５４】

硬化モジュール１４０は、任意の好都合なプロトコルを使用して固体組成物１２５を硬化液１４５と接触し得る。例えば、要素のうちの１つは、静止していてもよく、他の要素は、第１の要素と近接して移動してもよい。例えば、硬化モジュール１４０は、固体組成物１２５をリザーバに入れることができるように、硬化液１４５が位置し得るリザーバを含んでもよく、それにより固体組成物１２５が硬化液１４５に沈められる。したがって、固体組成物１２５の一部又は全ては、硬化液１４５の上面の下に位置する。固体組成物１２５は、１分～３０日、１時間～１０日、及び１２時間～５日などの任意の好適な期間、硬化液１４５に水中に沈めたままにすることができる。別の例として、固体組成物１２５は、静止することができ、硬化液１４５は、その上に噴霧することができ、すなわち、硬化液１４５は、固体組成物１２５の表面に接触するように移動することができる。場合によっては、噴霧は、固体組成物１２５の表面に接触する前に、硬化液の２つ以上の別個の液滴を形成するように、硬化液１４５を１つ以上の開口部を通して移動させることを含む。硬化液１４５を１つ以上の開口部を通して送ることは、例えば、ポンプを介して、硬化液１４５に機械的力を及ぼすことを含むことができ、それは、硬化液１４５を１つ以上の開口部を通して押す重力、又はその両方を含むことができる。硬化液１４５が固体組成物１２５上に噴霧された後、例えば、固体組成物１２５が濾過膜上に位置し、硬化液１４５を濾過膜を通して移動させる吸引力が加えられている場合、硬化液１４５は、固体組成物１２５ともはや接触しないように移動し続けることができ、又は硬化液１４５は、移動を停止し、１分～３０日、１時間～１０日、及び１２時間～５日などの好適な期間、固体組成物１２５と接触したままにすることができる。場合によっては、接触することは、硬化液１４５及び固体組成物１２５の両方が互いに接触するときに移動することを含む。例えば、固体組成物１２５は、可動表面上、例えば、コンベヤベルト上に配置することができ、可動表面は、例えば、スプレーヤーの開口部を通って、硬化液１４５が移動している場所に骨材１３５を移動させることができ、それによって、固体組成物１２５と硬化液１４５とが互いに接触するようにさせる。いくつかの実施形態において、硬化液１４５は、固体組成物１２５が第２の固体組成物に接触することができるように、移動面上で固体組成物１２５に接触した後にリサイクルされる。場合によっては、硬化液１４５は、接触の少なくとも一部分の間、例えば、接触の全時間の間、５℃～８０℃、例えば、１０℃～５０℃などの５℃～６０℃、例えば、１７℃～５０℃、例えば、２０℃～５０℃の範囲の温度である。

【００５５】

硬化固体組成物１５０は、CO_2が材料中で隔離（すなわち、固定）されるような様式でCO_2の長期貯蔵を提供することができ、隔離されたCO_2は、大気の一部にならない。硬化骨材１５０が、その意図された使用のための条件下で維持される場合、固体は、存

在する場合、固体からのCO_2の有意な放出とともに、隔離されたCO_2を、１年以上、５年以上、１０年以上、２５年以上、又は５０年以上などの長期間固定したままにする。例えば、硬化骨材１５０が、その意図された使用と一致する様式で維持される場合、固体から放出されるCO_2ガスの量は、少なくとも１、２、５、１０、若しくは２０年、又は２０年を超える間、例えば、１００年を超える間、例えば、意図された使用のために、通常のｐＨの降雨を含む、通常の温度及び湿気の条件に曝露された場合、固体中のCO_2の年間総量の１０％以下、例えば５％以下又は１％以下である。そのような安定性を合理的に予測することができる任意の好適な代理マーカー又は試験が使用され得る。例えば、高温及び／又は中程度からより極端なｐＨ条件の条件を含む加速試験は、長期間にわたる安定性を合理的に示すことができる。例えば、固体の意図される使用及び環境に応じて、硬化CO_2隔離固体の試料は、１、２、５、２５、５０、１００、２００、又は５００日間、１０％～５０％の相対湿度で５０、７５、９０、１００、１２０、又は１５０℃に曝露され得、その炭素の１％、２％、３％、４％、５％、１０％、２０％、３０％、又は５０％未満の損失は、所与の期間（例えば、１、１０、１００、１０００、又は１０００年超）の固体の安定性の十分な証拠とみなされ得る。

【００５６】

場合によっては、硬化は、初期CO_2隔離組成物１１０の化合物を第１の結晶構造から第２の結晶構造に変化させることをもたらし、硬化化合物は、この変化の速度を可能にするか、又は増加させる。場合によっては、硬化により、初期CO_2隔離固体組成物１１０中の第１の結晶構造から、硬化CO_2隔離骨材１５０中の第２の結晶構造に変化する炭酸塩化合物をもたらす。例えば、場合によっては、第１の結晶構造は、バテライト又は非晶質炭酸カルシウムであり、第２の結晶構造は、アラゴナイト又は方解石である。場合によっては、硬化CO_2隔離固体組成物１５０は、結晶構造を有し、すなわち、それは非晶質ではない。

【００５７】

場合によっては、硬化CO_2隔離固体組成物１５０は、初期CO_2隔離固体組成物１１０とは異なる特性を有する。例えば、硬化CO_2隔離固体組成物１５０は、初期CO_2隔離固体組成物１１０よりも高い破砕耐性を有してもよい。例えば、この破砕耐性の増加は、結晶構造の変化によって引き起こされ得る。破砕耐性は、様々な様式で記述することができる。例えば、場合によっては、破砕耐性は、機械的撹拌時に単一の材料片が複数の片に分割される耐性である。場合によっては、破砕耐性は、外力によって圧縮されたときに材料の単一の材料片が複数の片に分割される耐性である。いくつかの実施形態において、硬化CO_2隔離固体組成物１５０は、モース硬度スケールに従って、２以上のモーススクラッチ硬度を有する。場合によっては、硬化CO_2隔離固体組成物を含有するコンクリート試験片は、ＡＳＴＭ　Ｃ３３０に従って、それぞれ２，５００ｐｓｉ～４，０００ｐｓｉ及び１００ｌｂ／ｆｔ^3～１１５ｌｂ／ｆｔ^{3}の範囲の平均２８日間の圧縮強度及び計算された平衡密度を有する。

【００５８】

例として、完成した骨材の耐久性試験を実行するために、乾燥した骨材を花崗岩の岩石とともにふるいシェーカーに入れて、摩耗を提供することができる。例えば、約６ｇの骨材（３つの顆粒）を、１５５．０ｇの花崗岩の岩石とともにふるいに入れることができる。花崗岩の岩石の同一のセットは、全ての耐久性試験に使用することができる。いくつかの試験では、耐久性がある骨材は、４．０％未満の重量損失を有することが見出された。

【００５９】

例として、図３Ｂは、耐久性試験の結果を示す。示されるように、硬化は、耐久性試験後の平均重量損失の減少を引き起こし、その結果、暖かい１ＭのNa_2CO_3で硬化された１ヶ月の骨材の耐久性は、硬化されていない骨材と比較してはるかに優れている。

【００６０】

硬化液を異なる温度で骨材上に噴霧する効果は、本発明の一実施形態である。いかなる硬化液も噴霧することなく、耐久性試験中の骨材の質量損失は、約１０％であったが、２

５℃及び４０℃で１Ｍの炭酸ナトリウムで噴霧した場合の質量損失は、どちらの場合も約６％であった。したがって、噴霧は、耐久性を増加させたが、２５℃又は４０℃で噴霧すると、耐久性がほぼ等しく増加したようである。言い換えると、４０℃と比較して２５℃の温度差は、骨材の耐久性に影響を及ぼさないようであった。

【００６１】

システム１００は、任意選択で、硬化固体組成物１５０を処理して、それに関連する１つ以上のイオン／化合物を除去し、洗浄された硬化CO_2隔離固体組成物１７０を生成するための洗浄ステーション１６０を含み得る。例えば、洗浄ステーション１６０は、すすぎ液１６５を使用して、硬化CO_2隔離固体組成物１５０を洗浄して、それに関連する１つ以上の化合物、例えば、化合物又はイオンを除去するために使用されてもよい。例えば、所与の生成プロトコルが塩化物イオン又は化合物の存在をもたらす場合、硬化固体を洗浄して、塩化物イオン又は化合物を除去してもよい。同様に、所与の生成プロトコルがアンモニアイオン／化合物の存在をもたらす場合、硬化固体組成物１５０を洗浄して、そのようなイオン／化合物を除去してもよい。いくつかの実施形態において、洗浄ステーション１６０は、例えば、使用された液体のタイプに応じて、すすぎステーション１２０と同じである。

【００６２】

図２は、CO_2ガス吸収プロセスからの骨材を硬化させることによって、耐久性がある$CaCO_3$骨材及び砂を生成するためのシステム１００の動作の方法２００の実施形態を示す。方法２００は、モジュール１０５が、初期CO_2隔離固体組成物１１０を骨材又はコーティングされた骨材として調製するブロック２１０で開始する。ブロック２２０において、初期CO_2隔離骨材又はコーティングされた骨材組成物を、すすぎステーション１２０で脱水し、好適なすすぎ液１１５で洗浄して、洗浄された骨材１２５を生成する。いくつかの実施形態において、ブロック２２５は任意選択で、すすぎ液は、硬化液と同じである。例として、沈殿した$CaCO_3$スラリーを水で１～５回洗浄する。いくつかの試料では、スラリーを混合溶液と混合し、脱水する。混合溶液は、１つの溶液として、又はNa_2CO_3、$NaHCO_3$、$SrCl_2$、$MgCl_2$、Ｎａ－ケイ酸塩、シリカゲル、NaH_2PO_3、Na_2HPO_3、及びNa_3PO_4溶液の組み合わせで使用され得る。その結果、約５０～８０％の固形分を有する脱水湿潤$CaCO_3$ケーキが生成される。スラリーは、以下の生成物：純粋な$CaCO_3$粗骨材及び$CaCO_3$コーティングされた骨材（粗又は微細）を作製するために使用することができる。ブロック２３０において、$CaCO_3$スラリーは、骨材に形成される。例として、５０～８０％の固形分を有する$CaCO_3$スラリーを回転ドラムに１５～４０分間入れて、更に圧縮し、不安定な$CaCO_3$相を乾燥及び成熟させる。スラリーは、凝集して骨材を形成する。

【００６３】

いくつかの実施形態において、本方法は、ブロック２３５において、もし湿っている場合、任意選択で骨材を固化することを更に含む。上記で考察されたように、初期CO_2隔離固体組成物１１０は、固体状態の化合物だけでなく、液体状態の化合物、例えば、液体水も含むことができる。「固化」は、「空気乾燥」と互換的に使用され、洗浄された骨材１２５を、固体組成物から液体が蒸発するような環境に置くことを含む。固体組成物から液体を除去することによって、固体組成物の化学組成及びそれにより物理的特性を変更することができ、例えば、減少した体積の液体は、液体中に溶解した溶質を固体状態に遷移させることができる。例えば、洗浄された骨材１２５は、固体表面上に置かれて、それが別の液体と接触しないように、例えば、固体組成物からの液体が蒸発し、固体組成物が別の液体から液体を得ないようにすることができる。場合によっては、ステップ２２０は、蒸発速度を増加させる方法、例えば、固体組成物を通過するガスを流す方法、固体組成物に低減されたガス圧力を加える方法、固体組成物の温度を上昇させる方法、又はそれらの組み合わせを含む。固体組成物を通ってガスを流すことは、例えば、ファンを用いて実行することができる。ポンプ、例えば、真空ポンプを用いて、ガス圧力を低下させ、それによって蒸発速度を増加させることができる。洗浄された骨材１２５の温度は、例えば、電

気ヒーター又は天然ガスヒーターを使用して、例えば２５℃～９５℃、例えば３５℃～８０℃の範囲の温度まで上昇させることができる。実施形態において、固化は、単に１～３０日間空気乾燥することによって、又は高温（３０～２００℃で数分～数時間）で乾燥することによって行うことができる。例として、骨材は、露天に放置することによって、又は数時間湿った環境に収容することによって固化することができる。このプロセスは、温度に応じて１０分～２時間、熱を印加することによって促進することができる。

【００６４】

固化時間は、CO_2隔離骨材の硬化に影響する。考察されるように、ブロック２２０において、骨材は、硬化ステップ２３０の前の一定期間「固化」させることが可能である。一実施形態において、CO_2隔離骨材を、室温空気中に１日、３日、又は７日放置することによって「固化」させ、次いで、１Ｍの炭酸ナトリウムに沈めることによって硬化させた。固化しない場合、耐久性試験中の質量損失は、約２１％であったが、硬化前に骨材を約１日固化すると、その量は約１５％に減少した。したがって、固化は、骨材の耐久性を高めることができるようである。固化時間を３日又は７日に増やすと、耐久性試験中の質量損失がそれぞれ約６％又は約３％減少した。したがって、固化時間の増加（例えば、少なくとも７日の固化時間まで）は、耐久性を有意に増加させ、質量損失を約２１％から約３％に有意に減少させるようである。

【００６５】

ブロック２４０において、骨材１３５は、硬化モジュール１４０で硬化液１４５と接触する。骨材１３５を硬化液１４５と接触させることにより、硬化CO_2隔離骨材１５０の生成がもたらされる。例として、骨材１３５は、数分～数ヶ月間、４Ｃ～１００Ｃの硬化溶液：水、０．１～１ＭのNa_2CO_3、０．１～１Ｍの$NaHCO_3$、１０ｍＭ～１ＭのNa_3PO_4、Na_2HPO_4、Na_3PO_4溶液のいずれかに沈められる（硬化させる）か、又はそれらのいずれかを噴霧される。例として、固化骨材は、３０分間～数ヶ月間、４Ｃ～１００Ｃの硬化溶液：水、０．１～１ＭのNa_2CO_3、０．１～１Ｍの$NaHCO_3$、１０ｍＭ～１ＭのNa_3PO_4、Na_2HPO_4、Na_3PO_4溶液のいずれかに沈められ得るか、又はそれらのいずれかを噴霧され得る。

【００６６】

ブロック２４０では、いくつかの実施形態において、固化骨材２３５は、単に乾燥速度を遅らせることによって硬化することができる。例えば、本方法の一実施形態において、固化骨材２３５は、温度及び湿度の制御を伴う密閉空間又は空洞中に入れることによって硬化骨材２５０を形成するように硬化される。いくつかの場合において、固化骨材２３５は、温度制御された環境に曝露され、それにより、湿度は、密閉空間又は空洞中のすすぎ液１１５からなる。他の例では、固化骨材２３５は、温度制御環境に曝露され、それにより、湿度は、密閉空間又は空洞中のすすぎ液１６５からなり、なおかつ他の例では、固化骨材２３５は、温度制御環境に曝露され、それにより、湿度は、密閉空間又は空洞中の硬化液１４５からなる。上記のいくつかの実施形態において、又は上記のいくつかの実施形態の任意の組み合わせでは、固化骨材２３５は、硬化骨材２５０をもたらし、これらの全ては、建築材料としての使用、例えば、コンクリート中の骨材としての使用に好適である。

【００６７】

ブロック２４０での他の実施形態において、温度及び湿度は、硬化骨材２５０への固化骨材２３５の硬化速度を遅くするか、又は増加させるように、所望の相対湿度を有するように制御されてもよい。

【００６８】

ブロック２４５において、いくつかの実施形態において、本方法は、任意選択で、硬化骨材１５０を処理して、それに関連付けられた１つ以上のイオン／化合物を除去することを更に含む。例えば、本方法は、洗浄ステーション１６０で硬化CO_2隔離骨材１５０を洗浄して、それに関連する１つ以上の化合物、例えば、化合物又はイオンを除去することを含んでもよい。例えば、所与の生成プロトコルが塩化物イオン又は化合物の存在をもた

らす場合、硬化固体を洗浄して、塩化物イオン又は化合物を除去してもよい。同様に、所与の生成プロトコルがアンモニアイオン／化合物の存在をもたらす場合、硬化骨材１５０を洗浄して、そのようなイオン／化合物を除去してもよい。洗浄は、任意の好都合なプロトコルを使用して達成され得る。例えば、硬化骨材１５０は、（例えば、上記のように）所望のイオン／化合物を硬化生成物から分離するために十分な条件下で、洗浄液１６５、例えば、水道水と接触させてもよい。例えば、硬化骨材１５０は、洗浄液１６５に沈めてもよく、洗浄液１６５は、硬化固体の上を流れてもよく、洗浄液１６５は、加圧下などで硬化骨材１５０と接触してもよい。所望の場合、硬化骨材１５０から除去されたイオン／化合物は、例えば、再利用のために、洗浄液１６５から回収されてもよい。例として、硬化骨材を水で洗浄し、空気中で乾燥させる。

【００６９】

硬化CO_2隔離固体１５０は、様々な形状及びサイズを有することができる。ブロック２４５において、任意選択で、硬化CO_2隔離骨材１５０は、３００μｍ～５０，０００μｍ、例えば１，０００μｍ～１０，０００μｍの範囲の直径を有する複数の硬化形成骨材に形成され、様々な形状及びサイズを有することができる。場合によっては、硬化CO_2隔離骨材１５０は、０．００００１ｃｍ^3～１５０ｃｍ^3、例えば０．０１ｃｍ^3～１０ｃｍ^{3}の範囲の体積を有する。場合によっては、５個以上、１００個以上、又は１０００個以上などのそのような直径又は体積を有する２個以上の片が存在する。場合によっては、骨材は、ＡＳＴＭ　Ｃ３３０に従って、３０ｌｂ／ｆｔ^3～１００ｌｂ／ｆｔ^3、例えば５０ｌｂ／ｆｔ^3～７５ｌｂ／ｆｔ^{3}の範囲の乾燥した緩いかさ密度を有することができる。

【００７０】

ブロック２５０において、硬化CO_2隔離骨材１５０又は複数の硬化形成骨材は、建築材料として、例えば、コンクリート用の骨材として使用する準備ができている。

【００７１】

図３Ａは、$CaCO_3$骨材の洗浄及び硬化の効果を示す。CO_2吸収プロセス（低エネルギープロセス）から作製された$CaCO_3$骨材は、洗浄されていないときは弱く、洗浄及び硬化によって強化される。図３Ａに示すチャートは、水洗いスラリー試料と１Ｍの$NaHCO_3$で洗浄した試料との比較を示す。硬化のみ（重炭酸塩洗浄なし）、又は洗浄のみ（硬化なし）の試料は、洗浄及び硬化／袋詰めの両方の試料に対して低い強度を示した。重炭酸塩溶液で硬化することに加えて、洗浄されたスラリーからの骨材を水又は袋詰め（溶液噴霧なし）で硬化（噴霧）することも、最終的な骨材強度の観点から有意な効果を示している。

【００７２】

図３Ｂは、$CaCO_3$コーティングされた骨材の洗浄及び硬化の効果を示す。CO_2吸収プロセス（低エネルギープロセス）から作製された$CaCO_3$コーティングされた骨材は、所望の溶液（主に炭酸塩／重炭酸塩溶液）で洗浄又は硬化されていない場合、弱い。データは、対照（洗浄／硬化していない）とNa_2CO_3で硬化させた対照との比較を示す。結果は、Na_2CO_3硬化がコーティングされた砂の強度にも好影響を及ぼすことを示す。

【００７３】

図４は、元のスラリー（未洗浄）、洗浄及び凝集した骨材、並びに硬化後の最終骨材の走査電子分光（ＳＥＭ）画像を示す（未処理の対照と比較して）。示されるように、最終硬化骨材は、未処理の対照試料よりもはるかに強力である。

【００７４】

図５Ａは、古いスラリーに対する洗浄及び硬化の効果を示す。通常、古いスラリーは、強い骨材を作製することができない。しかしながら、示されるように、洗浄単独では、古いスラリーをはるかに強くしたが、２又は３日間の洗浄及び硬化は、古いスラリーの強度に最良の影響を与える。図５Ｂは、洗浄液中のナトリウム及びｐＨの効果を示す。図５Ｂのチャートは、ｐＨ又はＮａが、洗浄及び硬化骨材の強度に影響を及ぼさず、むしろ、重

炭酸塩洗浄が強度の主な供給源であることを示している。

【００７５】

図６は、CO_2ガス吸収プロセスからスラリーを硬化させることによって、耐久性がある$CaCO_3$骨材及び砂を生成するためのシステム１００の動作の方法６００の実施形態を示す。方法６００は、モジュール１０５が、初期CO_2隔離固体組成物１１０を$CaCO_3$スラリーとして調製するブロック６１０で開始する。ブロック６２０において、初期CO_2隔離$CaCO_3$スラリーを、すすぎステーション１２０で脱水し、好適な液体１１５で洗浄して、洗浄された固体組成物１２５を生成する。例として、沈殿した$CaCO_3$スラリーを水で１～５回洗浄することができる。いくつかの試料では、スラリーを混合溶液と混合して脱水する。混合溶液を、１つの溶液として、又はNa_2CO_3、$NaHCO_3$、$SrCl_2$、$MgCl_2$、Ｎａ－ケイ酸塩、シリカゲル、NaH_2PO_3、Na_2HPO_3、Na_3PO_4溶液の組み合わせで使用した。その結果、約５０～８０％の固形分を有する脱水湿潤$CaCO_3$ケーキが生成される。スラリーは、種々の生成物、例えば、純粋な$CaCO_3$粗骨材及び純粋な$CaCO_3$を作製するために使用することができる。例として、６２０において、ガス吸収プロセス後の$CaCO_3$懸濁液を、真空濾過によって脱水し、水で洗浄することができる。次いで、３００ｍＬの１ＭのＮａＨＣＯ３を、Ｂｕｃｈｎｅｒ漏斗中のスラリーの上でデカントし、真空濾過を使用して濾過することができる。その結果、６３％の固形分を含む３６３ｇの$CaCO_3$を生成することができる（総$CaCO_3$の１６５ｇ）。脱水スラリーは、凝集のために回転ドラムに入れることができる。スラリーは、水で３回噴霧し、２２～２３℃の表面温度を維持するヒーターで２０分間凝集させることができる。ドラムロールは、不安定な$CaCO_3$相の更なる圧縮及び多形遷移を提供した。

【００７６】

いくつかの実施形態において、本方法は、任意選択で、ブロック６３０で洗浄された固体組成物１２５を固化することを更に含む。上記で考察されたように、初期CO_2隔離固体組成物１１０は、固体状態の化合物だけでなく、液体状態の化合物、例えば、液体水も含むことができる。「固化」は、「空気乾燥」と互換的に使用され、洗浄された骨材１２５を、固体組成物から液体が蒸発するような環境に置くことを含む。固体組成物から液体を除去することによって、固体組成物の化学組成及びそれにより物理的特性を変更することができ、例えば、減少した体積の液体は、液体中に溶解した溶質を固体状態に遷移させることができる。例えば、洗浄された骨材１２５は、固体表面上に置かれて、それが別の液体と接触しないように、例えば、固体組成物からの液体が蒸発し、固体組成物が別の液体から液体を得ないようにすることができる。場合によっては、ステップ２２０は、蒸発速度を増加させる方法、例えば、固体組成物を通過するガスを流す方法、固体組成物に低減されたガス圧力を加える方法、固体組成物の温度を上昇させる方法、又はそれらの組み合わせを含む。固体組成物を通ってガスを流すことは、例えば、ファンを用いて実行することができる。ポンプ、例えば、真空ポンプを用いて、ガス圧力を低下させ、それによって蒸発速度を増加させることができる。洗浄された骨材１２５の温度は、例えば、電気ヒーター又は天然ガスヒーターを使用して、例えば２５℃～９５℃、例えば３５℃～８０℃の範囲の温度まで上昇させることができる。実施形態において、固化は、単に、１～３０日間空気乾燥することによって、又は高温で乾燥することによって（３０～２００℃で数分～数時間）、又はビニール袋に入れることによって行うことができる。

【００７７】

ブロック６４０において、洗浄された固体１３５は、硬化モジュール１４０で硬化液１４５と接触する。固体１３５を硬化液１４５と接触させることにより、硬化CO_2隔離固体組成物１５０の生成がもたらされる。例として、洗浄された固体１３５は、長さが３０分～数ヶ月であり得る硬化期間の間、４℃～１００℃の硬化溶液：水、０．１～１ＭのNa_2CO_3、０．１～１Ｍの$NaHCO_3$、１０ｍＭ～１ＭのNa_3PO_4、Na_2HPO_4、Na_3PO_4溶液のいずれかに沈められ得るか、又はそれらのいずれかを噴霧され得る。硬化プロセスは、乾燥速度を遅らせるために、密閉空間（湿度チャンバ又は容器又

はバッグなど）で硬化することを含んでもよい。スラリーを凝集せずに硬化させる例として、６０～８０％の固形分を有する湿潤スラリーケーキは、数時間～数ヶ月間、４℃～１００℃の硬化溶液：水、０．１～１ＭのNa_2CO_3、０．１～１Ｍの$NaHCO_3$、１０ｍＭ～１Ｍの$SrCl_2$、$MgCl_2$、Ｎａ－ケイ酸塩、シリカゲル、NaH_2PO_3、Na_2HPO_3、Na_3PO_4のいずれかに沈められ得るか、又はそれらのいずれかを噴霧（硬化）され得る。

【００７８】

硬化CO_2隔離固体１５０は、様々な形状及びサイズを有することができる。ブロック６５０において、硬化CO_2隔離固体組成物１５０は、３００μｍ～５０，０００μｍ、例えば１，０００μｍ～１０，０００μｍの範囲の直径を有する複数の硬化形成骨材に形成され、様々な形状及びサイズを有することができる。場合によっては、硬化CO_2隔離固体組成物１５０は、０．００００１cm^3～１５０cm^3、例えば０．０１cm^3～１０cm^3の範囲の体積を有する。場合によっては、５個以上、１００個以上、又は１０００個以上などのそのような直径又は体積を有する２個以上の片が存在する。場合によっては、骨材は、ＡＳＴＭ　Ｃ３３０に従って、３０ｌｂ／ｆｔ^3～１００ｌｂ／ｆｔ^3、例えば５０ｌｂ／ｆｔ^3～７５ｌｂ／ｆｔ^{3}の範囲の乾燥した緩いかさ密度を有することができる。

【００７９】

例として、ブロック６５０では、スラリーから骨材を生成するために、非スクラップ化凝集（ＮＳＡ）プロセスが使用される。$CaCO_3$スラリーケーキは、ペーパータオルで脱水され、ローリングピンによって圧縮される。次いで、圧縮されたケーキは、より小さい片に切られ、表面水を制御し、片が凝集することを防止するために乾燥させた$CaCO_3$の粉末又は廃棄ダスト微粒子とブレンドされる。$CaCO_3$片及び粉末ブレンドは、更なる圧縮及び不安定な$CaCO_3$相の乾燥／成熟のために、３～６０分間回転ドラムに入れられる。湿った骨材を取り出して空気中に置き、更に乾燥させ、数時間～７日間固化させる。例として、生成された骨材は、純粋な$CaCO_3$粗骨材又は$CaCO_3$コーティングされた骨材であってよく、粗又は微細のいずれかであり得る。

【００８０】

ブロック６５５において、いくつかの実施形態において、本方法は、任意選択で、硬化骨材１５０を処理して、それに関連付けられた１つ以上のイオン／化合物を除去することを更に含む。例えば、本方法は、洗浄ステーション１６０で、すすぎ液１６５を使用して、硬化CO_2隔離骨材１５０を洗浄し、それに関連する１つ以上の化合物、例えば、化合物又はイオンを除去することを含んでもよい。例えば、所与の生成プロトコルが塩化物イオン又は化合物の存在をもたらす場合、硬化固体を洗浄して、塩化物イオン又は化合物を除去してもよい。同様に、所与の生成プロトコルがアンモニアイオン／化合物の存在をもたらす場合、硬化骨材１５０を洗浄して、そのようなイオン／化合物を除去してもよい。洗浄は、任意の好都合なプロトコルを使用して達成され得る。例えば、硬化骨材１５０は、（例えば、上記のように）所望のイオン／化合物を硬化生成物から分離するために十分な条件下で、洗浄液１６５、例えば、水道水と接触させてもよい。例えば、硬化骨材１５０は、洗浄液１６５に沈めてもよく、洗浄液１６５は、硬化固体の上を流れてもよく、洗浄液１６５は、加圧下などで硬化骨材１５０と接触してもよい。所望の場合、硬化骨材１５０から除去されたイオン／化合物は、例えば、再利用のために、洗浄液１６５から回収されてもよい。例えば、６５５において、完成した骨材を、水などの洗浄液で洗浄し、乾燥、例えば空気乾燥させる。

【００８１】

図７は、スラリーが凝集せずに硬化される、スラリー硬化から作製された骨材の強度を示す。図７に示されるように、対照骨材（硬化していない）は、３及び６日間硬化させたスラリーよりも弱く、６日間硬化させたスラリーは、強度の有意な増加を示す。

【００８２】

CO_2隔離固体の蒸気処理

本発明者らは、緑色セメント／コンクリート組成物が、例えば、組成物の機能に悪影響を及ぼす製作プロトコルに起因する１つ以上の不純物を含み得ることを認識している。以下に記載されるように、本発明者らは、この問題に対処する方法を特定した。したがって、本発明の実施形態は、例えば、上記のように調製されたＣＯ$_2$隔離固体から不純物を分離することを含んでもよい。そのような実施形態において、本方法の態様は、ＣＯ$_2$隔離固体を接触させることを含み、これは、ＣＯ$_2$隔離固体から不純物を除去するために十分な様式で、上述のような硬化プロセスによって調製された固体であり得るか、又はそうでなくてもよい。本発明の態様は、ＣＯ$_2$隔離固体から不純物を分離する方法を含む。不純物を分離することは、固体がもはや不純物を含まないように、又は不純物を含有しないように、あるいは他の方法でそれに関連付けられた不純物を何らかの形で有しないように、ＣＯ$_2$隔離固体から不純物を除去することを意味する。所与の方法は、単一の不純物又は２つ以上の異なる不純物、例えば３つ以上、４つ以上、５つ以上、１０個以上、２０個以上などの不純物を除去し得る。

【００８３】

本発明の方法によって所与の固体から除去され得る不純物は、変化し得る。除去され得る不純物としては、限定されないが、化合物、元素、イオンなどが挙げられる。除去され得る不純物の例としては、アンモニア、アンモニウム、塩素、塩化物アニオン、ナトリウム、マグネシウム、カルシウム、重炭酸イオンなどが挙げられる。いくつかの場合において、不純物は、例えば、以下でより詳細に記載されるようなＣＯ$_2$隔離固体生成方法のメディエーターであり、これらのタイプの不純物の例としては、限定されないが、アンモニア、アンモニウム、又はそれらの組み合わせが挙げられる。いくつかの場合において、不純物は、例えば、以下により詳細に記載されるようなＣＯ$_2$隔離固体生成方法の副生成物であり、これらのタイプの不純物の例としては、限定されないが、塩又はそのイオン、例えば、塩化物イオンが挙げられる。本発明の方法は、１つ以上の不純物をＣＯ$_2$隔離固体から分離するため、本方法に従って処理されたＣＯ$_2$隔離固体は、処理前と比較して、処理後の質量が減少している。質量減少の大きさは、変化し得るが、いくつかの場合において、質量減少の大きさは、０．１％～１０％、例えば０．５％～５％の範囲である。

【００８４】

本発明の特定の実施形態において、ＣＯ$_2$隔離固体は、ＣＯ$_2$隔離固体から１つ以上の不純物を除去するために十分な様式で、蒸気と接触する。「蒸気」という用語は、その従来の意味で、気相中の水を指すために用いられる。固体と接触する蒸気は、湿潤蒸気又は飽和／過熱蒸気であり得る。いくつかの場合において、蒸気は、８８０Ｂｔｕ／ｌｂ以下を含む、９７０Ｂｔｕ／ｌｂ以下、例えば、９１０Ｂｔｕ／ｌｂ以下の気化熱を有する。固体は、任意の好都合なプロトコルを使用して蒸気と接触させてもよい。いくつかの場合において、蒸気は、固体の１つ以上の表面を横切って流れる。固体表面を横切る蒸気の流量は、変化してもよく、いくつかの場合において、１ｌｂ／ｈｒ～１００ｌｂ／ｈｒ、例えば５ｌｂ／ｈｒ～７５ｌｂ／ｈｒの範囲である。

【００８５】

蒸気は、任意の好都合なタイプのシステムで固体と接触させてもよい。いくつかの場合において、蒸気と固体とを接触させるために用いられるシステムは、閉鎖システムであり、例えば、蒸気及び固体が外部環境によってアクセスできない（質量若しくはエネルギーが環境に失われ得るか、又は環境から得ることができるシステム）。そのような例では、閉鎖システム中の圧力は変化してもよく、大気圧よりも大きくてもよく、いくつかの場合において、１～１００ｐｓｉｇ、例えば３～１５ｐｓｉｇの範囲である。そのようなシステム中の蒸気の温度は、また、いくつかの場合において、１００～１７０℃、例えば１０５～１２０℃の範囲で変化し得る。図８Ａは、閉鎖システムの図を提供する。図８Ａに示されるように、骨材は、圧力が大気圧よりも大きい密封容器中の沸騰水に対するメッシュスクリーン上に保持される。水から上昇する蒸気は、骨材を通過して上方に流れ、その表面上の骨材の周りを循環し、骨材の細孔に入り、それによって骨材を処理して、不純物、例えば、アンモニウム、アンモニウム塩、及びそれらの組み合わせを除去する。

【００８６】

いくつかの場合において、システムは、開放システムであり、例えば、蒸気及び固体が外部環境によってアクセス可能である（例えば、質量若しくはエネルギーが環境に失われ得るか、又は環境から得ることができるシステム）。開放システムでは、大気圧、例えば、０ｐｓｉｇで固体と接触する蒸気は、１００℃の温度を有し得る。図８Ｂは、開放システムの図を提供する。図８Ｂに示されるように、CO_2隔離骨材は、１００℃で維持された水の上のふるいスクリーン（他のタイプの懸濁液、例えば、メッシュバッグを用いてもよいが）に懸濁され、その結果、生成された蒸気は、骨材を通過して上方に流れ、骨材の表面細孔に入り、それによって骨材を処理して、不純物、例えばアンモニウム、アンモニウム塩、及びそれらの組み合わせを除去する。

【００８７】

一実施形態において、CO_2隔離固体骨材は、閉鎖システム、すなわち、図８Ａに示される閉鎖蒸気処理システム中の蒸気と、約４．３ｐｓｉｇ～１２ｐｓｉｇの範囲の大気圧よりも大きい接触圧力、及び約１０７℃～１１８℃の範囲の温度で、１０分～６０分の期間の間接触する。CO_2隔離固体骨材中の不純物は、CO_2隔離固体骨材を調製するために使用される方法の副生成物であるアンモニウム、カルシウム、及び塩化物の組み合わせを含む。CO_2隔離固体骨材からの不純物の分離を検証するために、蒸気処理された骨材をアンモニア試験に供し、これにより、蒸気処理された骨材を１ＭのＮａＯＨに５分間沈めて、あらゆる残留アンモニウムをアンモニアに変換し、次いで、アンモニアセンサーを使用して定量化する。蒸気処理された骨材がアンモニア試験に合格するために、いくつかの場合において、それは２５ｐｐｍ未満のアンモニアの値に達する。表１は、本実施形態から収集されたデータを要約する。

【００８８】

【表１】

表１

密閉容器中の湿潤骨材の質量 (kg)	水洗い[a]	密閉容器中の水の量 (L)	密閉容器中の圧力 (psig)	密閉容器中の温度 (℃)	密閉容器中の時間 (分)	アンモニア試験結果 (ppm NH_3)
1.0[b]	5	-	-	-	-	<18
0.7	1	0.7	12	118	10	<80
0.7	2	0.7	12	118	10	<36
0.7	3	0.7	12	118	10	<15
0.7	3	0.7	7.2	111	10	<50
0.7	3	0.7	7.2	111	15	<47
0.7	3	0.7	7.2	111	40	<19
0.7	3	0.7	<4.3	107	10	<72
0.7	3	0.7	<4.3	107	35	<52
0.7	3	0.7	<4.3	107	60	<24

[a]CO_2隔離固体スラリーが骨材、すなわち、CO_2隔離固体組成物調製モジュールへのその形成前に供された１Ｌの洗浄の数。

[b]CO_2隔離固体骨材は、蒸気処理に供されず、この実施形態において、CO_2隔離固体骨材は、アンモニア試験が実行可能になる前に、少なくとも１２時間硬化される。蒸気処理を使用する他の実施形態において、CO_2隔離固体骨材は、蒸気処理の直後にアンモニア試験を受けることができる。

【００８９】

上記の蒸気処理実施形態に関して、本発明は、上記のように調製された硬化CO_2隔離固体のみでの蒸気処理の使用に限定されない。代わりに、蒸気処理は、任意のCO_2隔離固体とともに用いられ得る。本発明の実施形態に従って蒸気処理され得るCO_2配列固体の例としては、限定されないが、米国特許第９，７０７，５１３号、同第９，７１４，４０６号、同第９，９９３，７９９号、同第１０，１９７，７４７号、同第１０，２０３，４３４号、同第１０，２８７，４３９号、同第１０，３２２，３７１号、同第１０，７１

１，２３６号、同第１０，７６６，０１５号、同第１０，８９８，８５４号、同第１０，９６０，３５０号及び同第１１，１５４，８１３号に記載されているものが挙げられ、これらの開示は、参照により本明細書に組み込まれる。本発明の実施形態に従って蒸気で処理され得るCO_2隔離固体は、また、CO_2含有ガスが約１０以上のｐＨで水性媒体と接触する、アルカリ集約プロトコルによって調製されるものを含む。そのようなプロトコルの例としては、限定されないが、米国特許第８，３３３，９４４号、同第８，１７７，９０９号、同第８，１３７，４５５号、同第８，１１４，２１４号、同第８，０６２，４１８号、同第８，００６，４４６号、同第７，９３９，３３６号、同第７，９３１，８０９号、同第７，９２２，８０９号、同第７，９１４，６８５号、同第７，９０６，０２８号、同第７，８８７，６９４号、同第７，８２９，０５３号、同第７，８１５，８８０号、同第７，７７１，６８４号、同第７，７５３，６１８号、同第７，７４９，４７６号、同第７，７４４，７６１号、及び同第７，７３５，２７４号に記載されるものが挙げられ、これらの開示は、参照により本明細書に組み込まれる。蒸気処理に関する更なる詳細は、米国仮出願第６３／１２８，４８３号に提供され、その開示は、参照により本明細書に組み込まれる。

【００９０】

固化可能組成物

いくつかの場合において、硬化CO_2隔離固体１５０は、固化可能組成物中で用いられる。本発明の固化可能組成物、例えば、コンクリート及びモルタルは、同時に、又はセメントを骨材と予め合わせてから、それから結果として生じる乾燥成分を水と合わせるかのいずれかによって、油圧セメントと、一定量の硬化CO_2隔離固体、例えば骨材（モルタル、例えば、砂については微細、コンクリートについては微細の有無にかかわらず粗）と、水性液体、例えば、水とを組み合わせることによって生成される。本発明のセメント組成物を使用するコンクリート混合物のための粗骨材材料の選定は、約０．０５インチ（１６ふるいサイズ）の最小サイズを有してもよく、これらの制限の間の勾配を含む、その最小から１インチ以上までのサイズで変化してもよく、いくつかの場合において、粗骨材のサイズは、０．０１１７インチ（３００ミクロン、Ｎｏ．５０ふるいサイズ）～４インチ（１００ｍｍ）の範囲である。細かく分割された骨材は、サイズが３／８インチ未満であり、再び２００ふるいサイズ程度まではるかに細かいサイズで目盛り付けされ得、いくつかの場合において、細かい骨材は、０．００２９インチ（７５ミクロン、Ｎｏ．２００ふるい）～０．３７５インチ（９．５ｍｍ）までのサイズの範囲である。微骨材は、本発明のモルタル及びコンクリートの両方に存在し得る。セメントの乾燥成分中のセメント対骨材の重量比は変化してよく、ある特定の実施形態において、２：１０～５：１０などの１：１０～４：１０の範囲であり、５５：１０００～７０：１００を含む。

【００９１】

乾燥成分が組み合わされて固化可能組成物、例えばコンクリートを生成する液相、例えば水性流体は、所望に応じて、純水から、１つ以上の溶質、添加剤、共溶媒などを含む水まで、変化し得る。固化可能組成物を調製する際に組み合わされる乾燥成分対液相の比は、変化してよく、ある特定の実施形態において、３：１０～６：１０などの２：１０～７：１０の範囲であり、４：１０～６：１０を含む。

【００９２】

ある特定の実施形態において、セメントは、１つ以上の混和剤とともに使用され得る。混和剤は、基本的なコンクリート混合物では得られない望ましい特性を提供するため、又はコンクリートの性質を変更して、特定の目的又はコスト削減のために、より容易に使用可能又はより好適にするために、コンクリートに添加される組成物である。当技術分野で既知であるように、混和剤は、コンクリート又はモルタルの成分として使用される、油圧セメント、骨材、及び水以外の任意の材料又は組成物であり、いくつかの特徴を向上するか、又はそのコストを低減する。使用される混和剤の量は、その混和剤の性質に応じて変化し得る。ある特定の実施形態において、これらの成分の量は、１～５０％ｗ／ｗ、例えば、２～１０％ｗ／ｗの範囲である。

【００９３】
対象となる混和剤としては、セメント化材料、ポゾラン、ポゾラン及びセメント化材料、並びに公称不活性材料などの細かく分割された鉱物混和剤が挙げられる。ポゾランとしては、珪藻土、オパールのようなチャート、粘土、シェール、フライアッシュ、シリカヒューム、火山灰、及び浮遊石が挙げられ、これらは既知のポゾランの一部である。ある特定の粉砕された粒状の高炉スラグ及び高カルシウムフライアッシュは、ポゾラン及びセメントの特性の両方を有している。公称不活性材料は、また、細かく分割された原石、ドロマイト、石灰岩、大理石、花崗岩、及び他も含むことができる。フライアッシュは、ＡＳＴＭ　Ｃ６１８に定義される。

【００９４】
対象となる他のタイプの混和剤としては、可塑剤、促進剤、遅延剤、空気入れ剤、発泡剤、還元水、腐食阻害剤、及び顔料が挙げられる。

【００９５】
したがって、対象となる混和剤としては、限定されないが、セット促進剤、セット遅延剤、空気入れ剤、消泡剤、アルカリ反応性低減剤、結合混和剤、分散剤、着色混和剤、腐食阻害剤、防湿混和剤、ガス形成剤、透過度低減剤、ポンプ補助剤、収縮補償混和剤、殺菌性混和剤、殺菌性混和剤、殺菌性混和剤、殺虫性混和剤、レオロジー改質剤、微細分割された鉱物混和剤、ポゾラン、骨材、湿潤剤、強度増強剤、撥水剤、並びに任意の他のコンクリート又はモルタル混和剤又は添加剤が挙げられる。混和剤は、当技術分野で周知であり、上記のタイプ又は任意の他の所望のタイプの任意の好適な混和剤が使用され得、例えば、参照によりその全体が本明細書に組み込まれる米国特許第７，７３５，２７４号を参照されたい。

【００９６】
いくつかの場合において、固化可能組成物は、重炭酸塩が豊富な生成物（ＢＲＰ）の混和剤を一定量使用して生成され、例えば、その開示は、参照により本明細書に組み込まれる米国特許第９，７１４，４０６号に記載されるように、液体又は固体形態であってもよい。

【００９７】
ある特定の実施形態において、本発明の固化可能組成物は、例えば、繊維補強コンクリートを所望する、繊維とともに用いられるセメントを含む。繊維は、ジルコニア含有材料、スチール、炭素、ガラス繊維、又は合成材料、例えば、ポリプロピレン、ナイロン、ポリエチレン、ポリエステル、レーヨン、高強度アラミド（すなわち、Ｋｅｖｌａｒ（登録商標））、又はそれらの混合物から作製することができる。

【００９８】
固化可能組成物の成分は、任意の好都合なプロトコルを使用して組み合わせることができる。各材料は、作業時に混合されてもよく、又は材料の一部若しくは全ては、事前に混合されてもよい。あるいは、材料のいくつかは、高範囲の還元水混和剤などの混和剤の有無にかかわらず、水と混合され、次いで、残りの材料は、それらと混合され得る。混合装置としては、任意の従来の装置を用いることができる。例えば、Ｈｏｂａｒｔミキサー、傾斜シリンダミキサー、Ｏｍｎｉミキサー、ヘンシェルミキサー、Ｖ型ミキサー、及びＮａｕｔａミキサーを使用することができる。

【００９９】
固化可能組成物（例えば、コンクリート）を生成するための成分の組み合わせに続いて、固化可能組成物は、いくつかの場合において、最初に流動可能な組成物であり、次いで、所与の期間の後に固化される。固化時間は変化してよく、ある特定の実施形態において、３０分～２４時間などの３０分～４８時間の範囲であり、１時間～４時間を含む。

【０１００】
固化生成物の強度も変化し得る。ある特定の実施形態において、固化セメントの強度は、１０ＭＰａ～５０ＭＰａなどの５Ｍｐａ～７０ＭＰａの範囲であってよく、２０ＭＰａ～４０ＭＰａを含む。ある特定の実施形態において、本発明のセメントから生成された固

化生成物は、例えば、ＡＳＴＭ　Ｃ１１５７に記載される試験方法を使用して決定される際に非常に耐久性がある。

【０１０１】

構造

本発明の態様は、本発明の硬化CO_2隔離固体１５０及び固化可能組成物から生成された構造を更に含む。したがって、更なる実施形態は、本発明の硬化CO_2隔離固体を含有する人工構造及びそれらの製造方法を含む。したがって、いくつかの実施形態において、本発明は、本明細書に記載のように、１つ以上の硬化CO_2隔離固体１５０を含む人工構造を提供する。人工構造は、建物、ダム、堤防、道路、又は骨材若しくは岩石を組み込んだ任意の他の人工構造体など、硬化CO_2隔離固体が使用され得る任意の構造であってもよい。いくつかの実施形態において、本発明は、本発明の硬化CO_2隔離固体１５０を含む人工構造、例えば、建物、ダム、又は道路を提供し、いくつかの場合において、硬化CO_2隔離固体１５０は、例えば、上記のように、化石燃料源からのCO_2を含有し得る。いくつかの実施形態において、本発明は、本発明の骨材を提供することを含む、構造の製造方法を提供する。

【０１０２】

添付の特許請求の範囲にかかわらず、本開示は、また、以下の付記によって定義される。

【０１０３】

１．硬化CO_2隔離固体を生成する方法であって、

ａ）初期CO_2隔離固体組成物を調製することと、

ｂ）初期CO_2隔離固体組成物を、硬化CO_2隔離固体を生成するために十分な硬化液と接触させることと

を含む、方法。

２．硬化液が、炭酸塩硬化液、重炭酸塩硬化液、リン酸塩硬化液、二価アルカリ土類金属硬化液、又は水道水を含む、付記１に記載の方法。

３．硬化液が、炭酸塩硬化液を含む、付記２に記載の方法。

４．炭酸塩硬化液が、炭酸ナトリウム（Na_2CO_3）炭酸アンモニウム（$(NH_4)_2CO_3$）、又は炭酸カリウム（K_2CO_3）を含む、付記３に記載の方法。

５．硬化液が、重炭酸塩硬化液を含む、付記２に記載の方法。

【０１０４】

６．重炭酸塩硬化液が、重炭酸ナトリウム（$NaHCO_3$）、重炭酸アンモニウム（NH_4HCO_3）、又は重炭酸カリウム（$KHCO_3$）を含む、付記５に記載の方法。

７．硬化液が、０．０５Ｍ～５Ｍの範囲の溶存無機炭素濃度を有する、付記１～６のいずれか一つに記載の方法。

８．硬化液が、リン酸塩硬化液を含む、付記２に記載の方法。

９．リン酸塩硬化液が、$H_2PO_4^-$、HPO_4^{2-}、及びPO_4^{3-}からなる群から選択されたリン酸アニオンを含む、付記８に記載の方法。

１０．硬化液が、二価アルカリ土類金属硬化液を含む、付記２に記載の方法。

【０１０５】

１１．二価アルカリ土類金属硬化液が、カルシウム硬化液を含む、付記１０に記載の方法。

１２．カルシウム硬化液が、$CaCl_2$を含む、付記１１に記載の方法。

１３．硬化液が、水道水を含む、付記２に記載の方法。

１４．硬化液が、炭酸塩硬化液、重炭酸塩硬化液、リン酸塩硬化液、二価アルカリ土類金属硬化液、及び水道水からなる群から選択される２つ以上の硬化液の複合体を含む、付記２に記載の方法。

１５．硬化液が、５～１４の範囲のｐＨを有する、付記１～１４のいずれか一つに記載の方法。

【０１０６】

１６．硬化液が、接触の少なくとも一部分の間、２０℃～５０℃の範囲の温度にある、付記１～１５のいずれか一つに記載の方法。
１７．接触が、１分～３０日間実行される、付記１～１６のいずれか一つに記載の方法。
１８．硬化が、初期CO_2隔離固体中の第１の結晶構造から、硬化CO_2隔離固体中の第２の結晶構造に変化する炭酸塩化合物をもたらす、付記１～１７のいずれか一つに記載の方法。
１９．炭酸塩化合物が、炭酸カルシウムであり、第１の結晶構造が、バテライト又は非晶質炭酸カルシウムであり、第２の結晶構造が、アラゴナイト又は方解石である、付記１８に記載の方法。
２０．初期CO_2隔離固体を調製することが、
（ｉ）炭酸塩捕捉液を生成するために十分な条件下で、水性捕捉液をガス状CO_2源と接触させることと、
（ｉｉ）初期CO_2隔離固体を生成するために十分な条件下で、カチオン源と炭酸塩捕捉液とを合わせることと
を含む、付記１～１９のいずれか一つに記載の方法。

【０１０７】

２１．初期CO_2隔離固体組成物を調製することが、初期CO_2隔離固体を生成するために十分な条件下で、カチオン源を含む水性捕捉液をガス状CO_2源と接触させることを含む、付記１～１９のいずれか一つに記載の方法。
２２．水性捕捉液が、水性捕捉アンモニアを含み、初期CO_2隔離固体組成物を調製することが、水性アンモニウム塩の生成ももたらす、付記２０又は２１に記載の方法。
２３．水性アンモニウム塩から水性捕捉アンモニアを再生することを更に含む、付記２２に記載の方法。
２４．カチオン源が、二価アルカリ土類金属カチオンを含む、付記２０～２３のいずれか一つに記載の方法。
２５．二価アルカリ土類金属カチオンが、Ca^{2+}又はMg^{2+}である、付記２４に記載の方法。

【０１０８】

２６．カチオン源が、遷移金属カチオンを含む、付記２０～２３のいずれか一つに記載の方法。
２７．遷移金属カチオンが、Ｍｎ、Ｆｅ、Ｎｉ、Ｃｕ、Ｃｏ、Ｚｎカチオンである、付記２６に記載の方法。
２８．初期水性液体中に、セメント、コンクリート、フライアッシュ、岩石、及びスチールスラグからなる群から選択される材料を少なくとも部分的に溶解させることによって、水性捕捉液を調製することを更に含む、付記２０～２７のいずれか一つに記載の方法。
２９．初期水性液体が、水性アンモニアを含む、付記２８に記載の方法。
３０．初期CO_2隔離固体組成物が、沈殿物を含み、方法が、硬化沈殿物組成物を生成する、付記１～２９のいずれか一つに記載の方法。

【０１０９】

３１．硬化沈殿物組成物から骨材を生成することを更に含む、付記３０に記載の方法。
３２．初期CO_2隔離固体組成物が、初期骨材を含む、付記１～３１のいずれか一つに記載の方法。
３３．硬化CO_2隔離固体を、各々が７５μｍ～１００，０００μｍの範囲の直径を有する複数の硬化形成骨材に形成することを更に含む、付記１～３２のいずれか一つに記載の方法。

【０１１０】

３４．硬化CO_2隔離固体であって、
ａ）初期CO_2隔離固体組成物を調製するステップと、
ｂ）初期CO_2隔離固体組成物を炭酸塩硬化液と接触させて、硬化CO_2隔離固体を生

成するステップと
を含むプロセスによって調製される、硬化CO_2隔離固体。
３５．硬化CO_2隔離固体が、モース硬度スケールに従って２以上の硬度を有する、付記３４に記載の硬化CO_2隔離固体。
３６．硬化CO_2隔離固体を含有するコンクリート試験片が、ＡＳＴＭ Ｃ３３０に従って、それぞれ２，５００ｐｓｉ～４，０００ｐｓｉ及び１００ｌｂ／ｆｔ^3～１１５ｌｂ／ｆｔ^{3}の範囲の平均２８日間の圧縮強度及び計算された平衡密度を有する、付記３４又は３５に記載の硬化CO_2隔離固体。
３７．硬化CO_2隔離固体が、結晶構造を有する、付記３４～３６のいずれか一つに記載の硬化CO_2隔離固体。
３８．硬化CO_2隔離固体が、アラゴナイト、方解石、又はそれらの組み合わせを含む、付記３７に記載の硬化CO_2隔離固体。
３９．硬化CO_2隔離固体が、７５μｍ～１００，０００μｍの範囲の直径を有する、付記３４～３８のいずれか一つに記載の硬化CO_2隔離固体。
【０１１１】
４０．硬化CO_2隔離固体を生成するためのシステムであって、
初期CO_2隔離固体組成物調製モジュールと、
硬化モジュールと
を備える、システム。
４１．硬化モジュールが、炭酸塩硬化液、重炭酸塩硬化液、リン酸塩硬化液、二価アルカリ土類金属硬化液、又は水道水を含む硬化液を含む、付記４０に記載のシステム。
４２．硬化液が、炭酸ナトリウム（Na_2CO_3）、炭酸アンモニウム（$(NH_4)_2CO_3$）、炭酸カリウム（K_2CO_3）、重炭酸ナトリウム（$NaHCO_3$）、重炭酸アンモニウム（NH_4HCO_3）、重炭酸カリウム（$KHCO_3$）、それらの組み合わせを含む、付記４１に記載のシステム。
４３．骨材組成物調製モジュールに水性捕捉アンモニアを供給するように構成された水性捕捉アンモニア再生モジュールを更に備える、付記３９～４２のいずれか一つに記載のシステム。
４４．水性捕捉アンモニア再生モジュールが、蒸留によって水性捕捉アンモニアを生成するように構成されている、付記４３に記載のシステム。
【０１１２】
４５．水性捕捉アンモニア再生モジュールが、アンモニウム塩をアルカリ性源と接触させることによって水性捕捉アンモニアを生成するように構成されている、付記４３又は４４に記載のシステム。
４６．初期CO_2隔離固体組成物調製モジュールが、
CO_2ガス／水性液体接触器モジュールと、
固体炭酸塩生成モジュールと
を備える、付記４０～４５のいずれか一つに記載のシステム。
４７．初期CO_2隔離固体組成物調製モジュールが、CO_2ガスをカチオン源を含む水性液体と接触させ、固体炭酸塩を生成するように構成されている、付記４０～４６のいずれか一つに記載のシステム。
４８．初期CO_2隔離固体組成物調製モジュールが、煙道ガスの供給源に動作可能に結合されている、付記４０～４６のいずれか一つに記載のシステム。
【０１１３】
添付の特許請求の範囲にかかわらず、本開示は、また、以下の付記によって定義される。
【０１１４】
１．不純物をCO_2隔離固体から分離する方法であって、
CO_2隔離固体から不純物を除去するために十分な様式で、CO_2隔離固体を蒸気と接触させることを含む、方法。

２．CO_2隔離固体が、１～６０分の範囲の期間の間、蒸気と接触する、付記１に記載の方法。
３．CO_2隔離固体が、０ｐｓｉｇ及び１００℃で蒸気と接触する、付記１又は２に記載の方法。
４．CO_2隔離固体が、開放システム中で蒸気と接触する、付記３に記載の方法。
５．CO_2隔離固体が、閉鎖システム中で蒸気と接触する、付記１～３のいずれか一つに記載の方法。
【０１１５】
６．CO_2隔離固体が、大気圧よりも高い接触圧力で蒸気と接触する、付記５に記載の方法。
７．接触圧力が、１～１００ｐｓｉｇの範囲である、付記６に記載の方法。
８．温度が、１０１～１７０℃の範囲である、付記５～７のいずれか一つに記載の方法。
９．不純物が、CO_2隔離固体生成方法のメディエーターを含む、付記１～８のいずれか一つに記載の方法。
１０．メディエーターが、アンモニア、アンモニウム、又はそれらの組み合わせを含む、付記９に記載の方法。
【０１１６】
１１．不純物が、CO_2隔離固体生成方法の副生成物を含む、付記１～１０のいずれか一つに記載の方法。
１２．副生成物が、その塩又はイオンを含む、付記１１に記載の方法。
１３．副生成物が、塩化物イオンを含む、付記１２に記載の方法。
１４．CO_2隔離固体が、骨材を含む、付記１～１３のいずれか一つに記載の方法。
１５．CO_2隔離固体を調製することを更に含む、付記１～１４のいずれか一つに記載の方法。
【０１１７】
１６．調製することが、CO_2隔離固体を生成するために十分な様式で、ガス状CO_2源を捕捉液及びカチオン源と合わせることを含む、付記１５に記載の方法。
１７．ガス状CO_2源を、炭酸塩、重炭酸塩、溶存CO_2、又はそれらの混合物を含む水溶液を生成するために十分な条件下で捕捉液と合わせ、続いて、CO_2隔離固体を生成するために十分な条件下で、カチオン源と水溶液とを合わせる、付記１５に記載の方法。
１８．CO_2隔離固体組成物を調製することが、CO_2隔離固体を生成するために十分な条件下で、カチオン源を含む水性捕捉液をガス状CO_2源と接触させることを含む、付記１５に記載の方法。
１９．水性捕捉液が、水性捕捉アンモニアを含み、CO_2隔離固体組成物を調製することが、水性アンモニウム塩の生成ももたらす、付記１６～１８のいずれか一つに記載の方法。
２０．水性アンモニウム塩から水性捕捉アンモニアを再生することを更に含む、付記１９に記載の方法。
【０１１８】
２１．カチオン源が、二価アルカリ土類金属カチオンを含む、付記１６～２０のいずれか一つに記載の方法。
２２．二価アルカリ土類金属カチオンが、Ca^{2+}又はMg^{2+}である、付記２１に記載の方法。
２３．カチオン源が、遷移金属カチオンを含む、付記１６～２０のいずれか一つに記載の方法。
２４．遷移金属カチオンが、Ｍｎ、Ｆｅ、Ｎｉ、Ｃｕ、Ｃｏ、Ｚｎカチオンである、付記２３に記載の方法。
２５．初期水性液体中に、セメント、コンクリート、フライアッシュ、岩石、及びスチールスラグからなる群から選択される材料を少なくとも部分的に溶解させることによって

、水性捕捉液を調製することを更に含む、付記１６～２４のいずれか一つに記載の方法。
【０１１９】
２６．初期水性液体が、水性アンモニアを含む、付記２５に記載の方法。
２７．CO_2隔離固体を硬化することを更に含む、付記１～２６のいずれか一つに記載の方法。
２８．CO_2隔離固体が、CO_2隔離固体を蒸気と接触させる前に硬化される、付記２７に記載の方法。
２９．CO_2隔離固体が、CO_2隔離固体を蒸気と接触させた後に硬化される、付記２８に記載の方法。
【０１２０】
３０．付記１～２９のいずれか一つに従って生成された、処理されたCO_2隔離固体。
３１．付記３０に記載の処理されたCO_2隔離固体を含む、組成物。
３２．組成物が、コンクリートを含む、付記３１に記載の組成物。
３３．組成物が、形成されたオブジェクトを含む、付記３２に記載の組成物。
【０１２１】
３４．処理されたCO_2隔離固体を生成するためのシステムであって、
CO_2隔離固体組成物調製モジュールと、
蒸気処理モジュールと
を備える、システム。
３５．蒸気処理モジュールが、開放モジュールである、付記３４に記載のシステム。
３６．蒸気処理モジュールが、閉鎖モジュールである、付記３４に記載のシステム。
３７．蒸気処理モジュールが、加圧モジュールである、付記３６に記載のシステム。
【０１２２】
前述の実施形態の少なくともいくつかでは、ある実施形態で使用される１つ以上の要素は、かかる置き換えが技術的に実現可能でない限り、別の実施形態で互換的に使用することができる。特許請求された主題の範囲から逸脱することなく、上記の方法及び構造に対して様々な他の省略、追加及び修正がなされ得ることが、当業者によって理解される。かかる全ての修正及び変更は、添付の特許請求の範囲によって規定される主題の範囲内であることが意図される。
【０１２３】
一般に、本明細書で、及び、特に、添付の特許請求の範囲（例えば、添付の特許請求の範囲の本文）で使用される用語は、概して、「オープン」用語として意図されること（例えば、「含んでいる（ｉｎｃｌｕｄｉｎｇ）」という用語は、「含んでいるが、それに限定されない」と解釈されるべきであり、「有する（ｈａｖｉｎｇ）」という用語は、「少なくとも有する」と解釈されるべきであり、「含む（ｉｎｃｌｕｄｅｓ）」という用語は、「含むが、それに限定されない」と解釈されるべきである、など）が当業者によって理解される。特定の数の導入された特許請求列挙が意図される場合、そのような意図は特許請求項に明示的に列挙されるし、そのような列挙がない場合、そのような意図は存在しないことが、当業者によって更に理解される。例えば、理解の補助として、以下の添付の特許請求の範囲は、特許請求列挙を導入するために、導入句「少なくとも１つ」及び「１つ以上」の使用を含むことがある。しかしながら、同じ特許請求項が「１つ以上」又は「少なくとも１つ」という導入句、及び「ａ（１つの）」又は「ａｎ（１つの）」のような不定冠詞を含む場合であっても、そのような句の使用は、不定冠詞「ａ」又は「ａｎ」による特許請求列挙の導入が、そのような導入された特許請求列挙を含む任意の特定の特許請求項を、そのような列挙を１つだけ含む実施形態に限定することを意味するように解釈されるべきではなく（例えば、「ａ」及び／又は「ａｎ」は、「少なくとも１つ」又は「１つ以上」を意味すると解釈されるべきである）、特許請求列挙を導入するために使用される定冠詞の使用についても同じことが当てはまる。また、特定の数の導入された特許請求列挙が明示的に列挙されていても、当業者であれば、そのような列挙は、少なくとも列挙された数を意味すると解釈されるべきことを認識する（例えば、他の修飾語を含まない「

２つの列挙」のベアな列挙は、少なくとも２つの列挙、又は２つ以上の列挙を意味する）。更に、「Ａ、Ｂ、及びＣのうちの少なくとも１つ、など」に類似する慣例が使用される場合、概して、そのような構文は、当業者なら慣例を理解するという意味で意図される（例えば、「Ａ、Ｂ、及びＣのうちの少なくとも１つを有するシステム」は、以下に限定されないが、Ａ単独、Ｂ単独、Ｃ単独、Ａ及びＢともに、Ａ及びＣともに、Ｂ及びＣともに、並びに／又はＡ、Ｂ、及びＣともになどを有するシステムを含む）。「Ａ、Ｂ、又はＣのうちの少なくとも１つ、など」に類似する慣例が使用される場合、概して、そのような構文は、当業者なら慣例を理解するという意味で意図される（例えば、「Ａ、Ｂ、又はＣのうちの少なくとも１つを有するシステム」は、以下に限定されないが、Ａ単独、Ｂ単独、Ｃ単独、Ａ及びＢともに、Ａ及びＣともに、Ｂ及びＣともに、並びに／又はＡ、Ｂ、及びＣともになどを有するシステムを含む）。明細書、特許請求の範囲、又は図面のいずれであろうと、２つ以上の代替用語を提示する実質的に任意の離接語及び／又は離接句は、用語のうちの１つ、用語のいずれか、又は両方の用語を含む可能性を意図すると理解されるべきことが、当業者には更に理解される。例えば、「Ａ又はＢ」という語句は、「Ａ」又は「Ｂ」又は「Ａ及びＢ」の可能性を含むと理解される。

【０１２４】

更に、本開示の特徴又は態様がマーカッシュグループの観点から記載されている場合、当業者であれば、本開示が、それによって、マーカッシュグループの個々のメンバー、又はマーカッシュグループのメンバーの任意のサブグループの観点からも記載されていることを認識する。

【０１２５】

当業者には理解されるように、書面による説明を提供することなど、任意の及び全ての目的のために、本明細書に開示される全ての範囲はまた、任意の及び全ての可能なサブ範囲、並びにそのサブ範囲の組み合わせも包含する。任意のリストされた範囲は、同じ範囲が、少なくとも等しい２分の１、３分の１、４分の１、５分の１、１０分の１などに分解されることを十分に示し、分解されることを可能にするものとして容易に認識され得る。非限定的な例として、本明細書で考察される各範囲は、容易に、下側の３分の１、真ん中の３分の１、及び上側の３分の１などに分解され得る。当業者に同様に理解されるように、「最大」、「少なくとも」、「より大きい」、「より少ない」などの全ての用語は、列挙される数を含み、上記で考察されたようにサブ範囲に後に分解され得る範囲を指す。最後に、当業者に理解されるように、範囲は各個々のメンバーを含む。したがって、例えば、１～３個の物品を有する群は、１個、２個、又は３個の物品を有する群を指す。同様に、１～５つの項目を有するグループとは、１、２、３、４、又は５つの項目を有するグループなどを指す。

【０１２６】

前述の発明は、理解の明確化を目的として例示及び例としてある程度詳細に記載されているが、添付の特許請求の範囲の趣旨又は範囲から逸脱することなく、ある特定の変更及び修正が、それらに対して行われ得ることは、本発明の教示に照らして当業者には容易に明らかである。

【０１２７】

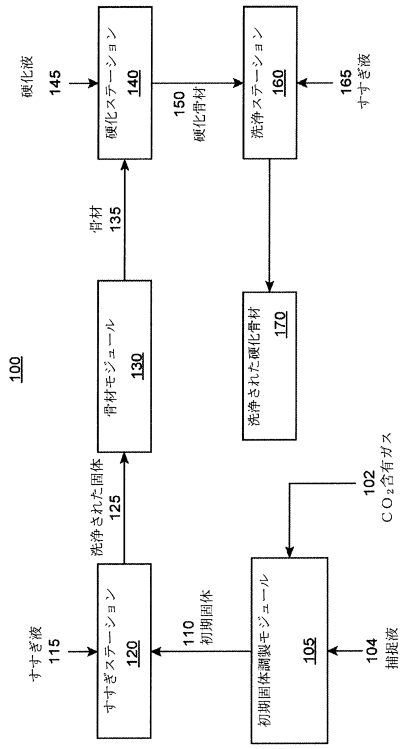
実施例は、例示として提示されるものであって、限定として提示されるものではない。実施例は、当業者に、本発明の作製及び使用方法の完全な開示及び説明を提供するために提示されるものであり、発明者が発明とみなす範囲を限定することを意図せず、また、以下の実験が実施された全て又は唯一の実験であることを表すことを意図するものではない。使用される数字（例えば、量、温度など）に対する正確性を確保する努力がなされているが、ある程度の実験誤差及び偏差が考慮されるべきである。別様に示されない限り、部とは重量部であり、分子量は重量平均分子量であり、温度は摂氏であり、圧力は大気圧又は略大気圧である。標準的な略語、例えば、ｂｐ（塩基対）、ｋｂ（キロ塩基）、ｐｌ（ピコリットル）、ｓ又はｓｅｃ（秒）、ｍｉｎ（分）、ｈ又はｈｒ（時間）、ａａ（アミノ酸）、ｎｔ（ヌクレオチド）などが使用されてもよい。

【０１２８】
したがって、前述は、本発明の原理を単に例示しているに過ぎない。当業者であれば、本明細書に明示的に記載又は図示していないが、本発明の原理を具現化し、その趣旨及び範囲内に含まれる様々な構成を考案できることが理解される。更に、本明細書に列挙された全ての例及び条件的文言は、主として本発明の原理及び発明者らにより当該技術の促進のために寄与された概念を理解する上で読者を助けることを意図しており、このような具体的に列挙された例及び条件への限定ではないと解釈されるべきである。また、本発明の原理、態様、及び実施形態、並びにその具体的な例を列挙する本明細書における全ての記述は、その構造的及び機能的等価物の両方を包含することを意図している。追加的に、そのような等価物は、現在知られている等価物及び将来開発される等価物の両方、すなわち、構造にかかわらず同じ機能を果たすいかなる開発要素も含むことが意図される。更に、本明細書に開示のいかなるものも、そのような開示が特許請求の範囲に明示的に列挙されているか否かにかかわらず、公共に供することを意図しない。

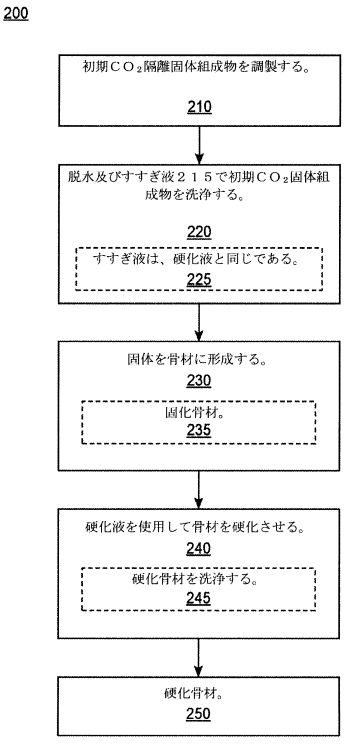
【０１２９】
したがって、本発明の範囲は、本明細書に図示及び記載の例示的な実施形態に限定されることを意図していない。むしろ、本発明の範囲及び趣旨は、添付の特許請求の範囲によって具現化される。特許請求の範囲において、米国特許法第１１２条（ｆ）又は米国特許法第１１２条（６）は、特許請求の範囲への限定の始まりの正確な語句「のための手段」又は正確な語句「のためのステップ」が列挙されている場合にのみ、そのような特許請求の範囲に限定するために公使されると明示的に定義され、そのような正確な語句が、特許請求の範囲への限定において使用されない場合、米国特許法第１１２条（ｆ）又は米国特許法第１１２条（６）は行使されない。

【０１３０】
関連出願の相互参照
米国特許法第１１９条（ｅ）に従って、本出願は、２０２０年１２月２１日に出願された米国仮出願第６３／１２８，４８７号及び２０２０年１２月２１日に出願された米国仮出願第６３／１２８，４８３号の出願日に対する優先権を主張し、それらの出願の開示は、参照により本明細書に組み込まれる。

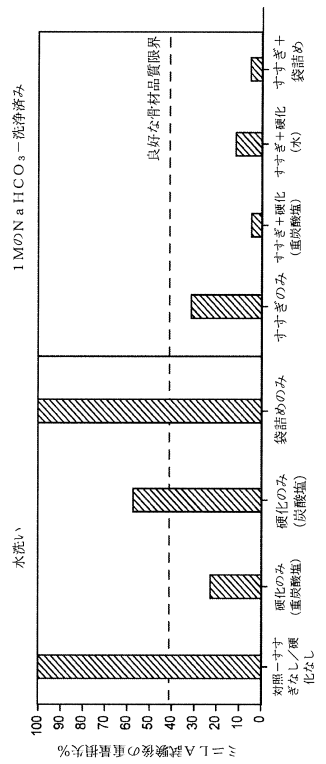
【図面】
【図１】



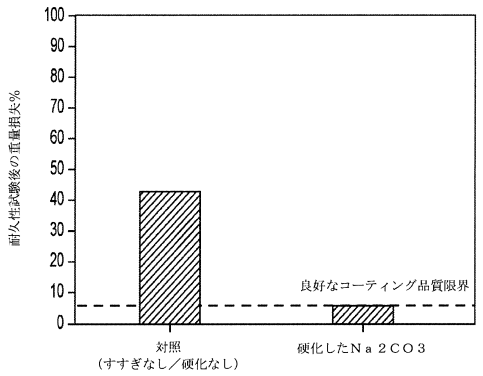
【図２】



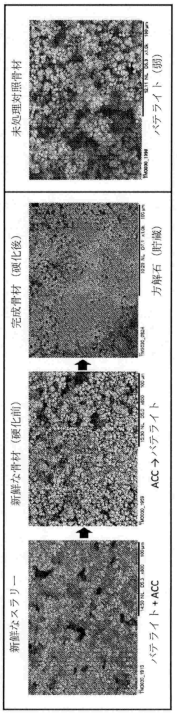
【図３Ａ】



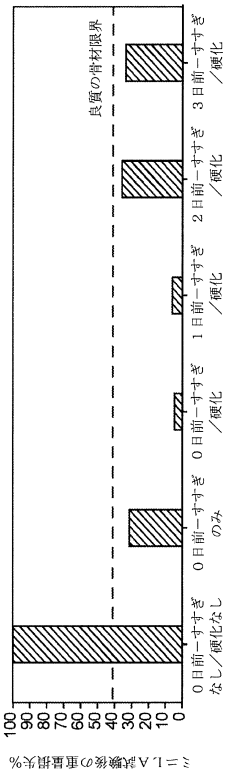
【図３Ｂ】



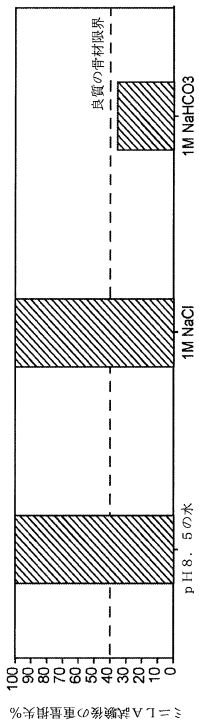
【図４】



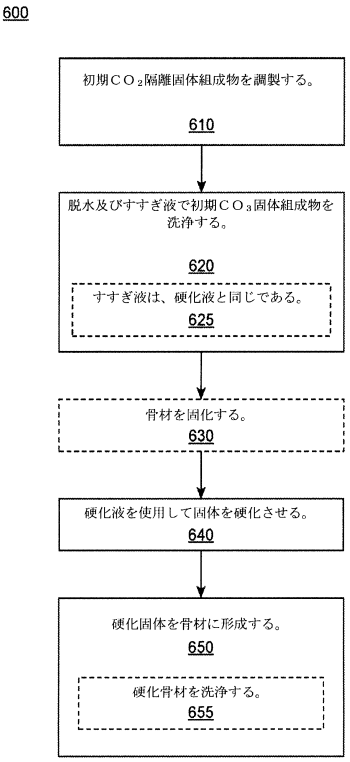
【図５Ａ】



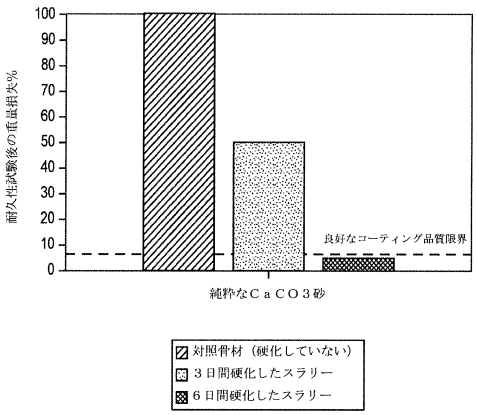
【図５Ｂ】


良質の骨材限界
1M NaHCO3
1M NaCl
ｐＨ８．５の水
100
90
80
70
60
50
40
30
20
10
0
ミニＬＡ試験後の重量損失%

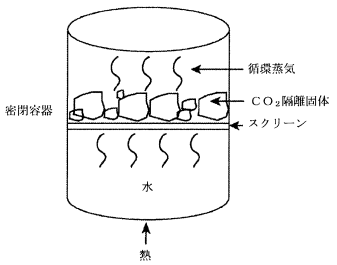
【図６】


600
初期ＣＯ２隔離固体組成物を調製する。
610
脱水及びすすぎ液で初期ＣＯ３固体組成物を洗浄する。
620
すすぎ液は、硬化液と同じである。
625
骨材を固化する。
630
硬化液を使用して固体を硬化させる。
640
硬化固体を骨材に形成する。
650
硬化骨材を洗浄する。
655

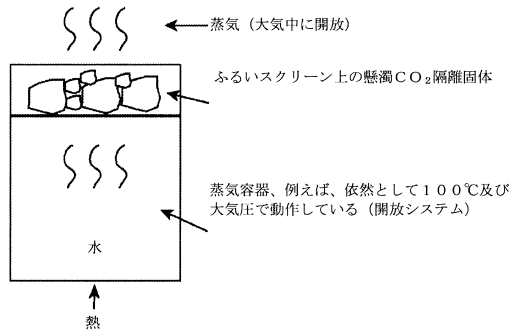
【図７】


耐久性試験後の重量損失%
100
90
80
70
60
50
40
30
20
10
0
良好なコーティング品質限界
純粋なＣａＣＯ３砂
対照骨材（硬化していない）
３日間硬化したスラリー
６日間硬化したスラリー

【図８Ａ】


循環蒸気
ＣＯ２隔離固体
スクリーン
密閉容器
水
熱

【図８Ｂ】


蒸気（大気中に開放）
ふるいスクリーン上の懸濁ＣＯ２隔離固体
蒸気容器、例えば、依然として１００℃及び
大気圧で動作している（開放システム）
水
熱

【国際調査報告】

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/US 21/64358

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
IPC - B01D 53/18; B01D 53/62; B01D 53/78 (2022.01)
CPC - B01D 53/18; B01D 53/62; B01D 53/78

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

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)
See Search History document

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

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

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	US 2020/0370001 A1 (Blue Planet Systems Corporation) 26 November 2020 (26.11.2020) Para [0031]; [0038]; [0041]; [0042]; [0071]; [0159]; [0160]	1-14, 40-42, and 46-48
--- Y		49-50
Y	US 2017/0274318 A1 (Blue Planet Ltd) 28 September 2017 (28.09/2017) Para [0006]; [0015]; [0042]; [0101]	49-50
A	US 2011/0014100 A1 (Bara et al.) 20 January 2011 (20.01.2011) entire document	1-14, 40-42, and 46-50
A	US 2019/0179061 A1 (Blue Planet Ltd.) 13 June 2019 (13.06.2019) entire document	1-14, 40-42, and 46-50

☐ Further documents are listed in the continuation of Box C. ☐ See patent family annex.

* Special categories of cited documents:
"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance
"D" document cited by the applicant in the international application
"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date
"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)
"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means
"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed
"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art
"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search	Date of mailing of the international search report
28 February 2022	MAR 18 2022
Name and mailing address of the ISA/US Mail Stop PCT, Attn: ISA/US, Commissioner for Patents P.O. Box 1450, Alexandria, Virginia 22313-1450 Facsimile No. 571-273-8300	Authorized officer Kari Rodriquez Telephone No. PCT Helpdesk: 571-272-4300

Form PCT/ISA/210 (second sheet) (July 2019)

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/US 21/64358

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.: 15-39, 43-45, and 51-54
because they are dependent claims and are not drafted in accordance with the second and third sentences of Rule 6.4(a).

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:

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 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.:

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.

Form PCT/ISA/210 (continuation of first sheet (2)) (July 2019)

フロントページの続き

,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,DK,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),OA(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,BB,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,ZW

アメリカ合衆国 ９５０３２ カリフォルニア，ロス ガトス，スイート エー，クーパー コート １００

(72)発明者 ユネス，モハマド アル ハッジ
アメリカ合衆国 ９５０３２ カリフォルニア，ロス ガトス，スイート エー，クーパー コート １００

(72)発明者 カン，スン－ヒ
アメリカ合衆国 ９５０３２ カリフォルニア，ロス ガトス，スイート エー，クーパー コート １００

(72)発明者 シュナイダー，ヤコブ
アメリカ合衆国 ９５０３２ カリフォルニア，ロス ガトス，スイート エー，クーパー コート １００

Ｆターム（参考） 4D002 AA09 AC01 AC05 AC07 AC10 BA02 DA47 DA57 DA66 DA70
GA01 GB20
4D020 AA03 BA16 BA30 BB03 DA03 DB20