

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第6764857号
(P6764857)

(45) 発行日 令和2年10月7日(2020.10.7)

(24) 登録日 令和2年9月16日(2020.9.16)

(51) Int.Cl. F I
B 2 8 B 11/24 (2006.01) B 2 8 B 11/24

請求項の数 24 (全 31 頁)

(21) 出願番号	特願2017-506748 (P2017-506748)	(73) 特許権者	515252684
(86) (22) 出願日	平成27年8月4日(2015.8.4)		ソリディア テクノロジーズ インコーポ
(65) 公表番号	特表2017-530032 (P2017-530032A)		レイテッド
(43) 公表日	平成29年10月12日(2017.10.12)		SOLIDIA TECHNOLOGIE
(86) 国際出願番号	PCT/US2015/043540		S, INC.
(87) 国際公開番号	W02016/022522		アメリカ合衆国 ニュージャージー州 O
(87) 国際公開日	平成28年2月11日(2016.2.11)		8854 ビスカタウェイ コロニアル
審査請求日	平成30年8月3日(2018.8.3)		ドライブ 11
(31) 優先権主張番号	62/033,366	(74) 代理人	100147485
(32) 優先日	平成26年8月5日(2014.8.5)		弁理士 杉村 憲司
(33) 優先権主張国・地域又は機関	米国 (US)	(74) 代理人	100174001
			弁理士 結城 仁美
		(74) 代理人	100179866
			弁理士 加藤 正樹

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 水除去における流速制限工程の制御により複合材料を硬化させる方法および装置

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

第1の機械可読媒体に記録された命令集合の制御下で動作するように構成されたマイクロプロセッサであって、前記命令集合下で動作する際に、以下の工程：

二酸化炭素源、ガスフローサブシステム、温度制御サブシステムおよび湿度制御サブシステムの少なくとも1つの動作を制御する工程；

二酸化炭素を含むプロセスガスのフローを、前記プロセスガス中の前記二酸化炭素との反応により硬化する材料に接触するように導入する工程；

前記プロセスガスフローの前記導入からの経過時間、前記プロセスガスが供給される際の前記プロセスガスの二酸化炭素濃度、相対湿度、流量、温度および圧力からなるパラメータ群から選択された少なくとも1つのパラメータを監視する工程；

監視される前記パラメータの少なくとも1つの記録、監視される前記パラメータの前記少なくとも1つの、データ処理システムへの伝送、または監視される前記パラメータの前記少なくとも1つの、ユーザへの表示のうち、少なくとも1つを行う工程；および

前記二酸化炭素との反応により硬化する前記材料の硬化状態を確認する工程、

を行うマイクロプロセッサ、

を備える、コントローラ。

【請求項 2】

前記マイクロプロセッサが前記命令集合下で動作する際に、外部ソースからの開始コマンドを受信する工程；硬化チャンバへの搬入が適切に行われたかどうかを判断する工程；

10

20

硬化チャンバの閉鎖が適切に行われたかどうかを判断する工程；前記二酸化炭素との反応により硬化する前記材料との前記プロセスガスの接触が解除される際の前記プロセスガスの二酸化炭素濃度、相対湿度、流量、温度、圧力およびフロー持続時間からなるパラメータ群から選択された少なくとも1つのパラメータを監視する工程；硬化チャンバ内の1つまたは複数の場所における、二酸化炭素濃度、相対湿度、流量、温度および圧力からなるパラメータ群から選択された少なくとも1つのパラメータを監視する工程；行うプロセスの1工程をなす、1つまたは複数のプロセスパラメータを表す、ユーザによる入力を受信する工程；プロセスレシピの1工程として前記ユーザによる前記入力を不揮発性機械可読媒体に記録する工程；または不揮発性機械可読媒体に記録されたプロセスレシピの少なくとも1つの工程を取得する工程を行う、請求項1に記載のコントローラ。

10

【請求項3】

前記ガスフローサブシステムが：

バルブ、流量調整器、マスフローコントローラ、ブロワおよびガス送給構造の少なくとも1つを備え、

二酸化炭素を反応物として含むプロセスガスを、前記二酸化炭素との反応により硬化する材料に流体接触するよう供給するよう構成された、請求項1に記載のコントローラ。

【請求項4】

前記ガスフローサブシステムが、反応物として二酸化炭素を含む前記プロセスガスに加えて水蒸気に適応する；または反応物として二酸化炭素を含む前記プロセスガスに加えて空気に適応する、請求項3に記載のコントローラ。

20

【請求項5】

前記ガス送給構造が、前記二酸化炭素との反応により硬化する前記材料に埋設されている；または前記ガス送給構造が、前記二酸化炭素との反応により硬化する前記材料に隣接して配置されたガス透過層である、請求項3に記載のコントローラ。

【請求項6】

コントローラから制御信号を受信するよう構成された通信ポート；または前記プロセスガスの二酸化炭素濃度、相対湿度、流量、温度および圧力の少なくとも1つを符号化する信号をコントローラに伝達するよう構成された通信ポートをさらに備える、請求項3に記載のコントローラ。

【請求項7】

ガス回収管状部をさらに備える、請求項3に記載のコントローラ。

30

【請求項8】

前記ガス回収管状部に存在するガスの二酸化炭素濃度、相対湿度、流量、温度および圧力の少なくとも1つを符号化する信号をコントローラに伝達するよう構成された通信ポートをさらに備える、請求項7に記載のコントローラ。

【請求項9】

前記温度制御サブシステムが：

ヒーターおよび冷却器から選択されたいずれかまたは両方を備え、

二酸化炭素を含むプロセスガスが、該プロセスガス中の前記二酸化炭素との反応により硬化する材料と接触する前に前記プロセスガスが所望の温度に達するように、前記プロセスガスの温度を制御するよう構成された、請求項1に記載のコントローラ。

40

【請求項10】

ガス温度を測定するよう構成されたセンサ；相対湿度を測定するよう構成されたセンサ；温度値および相対湿度値の少なくとも1つを表す信号をコントローラに伝送するよう構成された通信ポート；またはコントローラから制御信号を受信するよう構成された通信ポートをさらに備える、請求項9に記載のコントローラ。

【請求項11】

前記湿度制御サブシステムが：

水蒸気源および水蒸気除去装置から選択されたいずれかまたは両方を備え、

二酸化炭素を含むプロセスガスが、該プロセスガス中の前記二酸化炭素との反応により

50

硬化する材料と接触する前に前記プロセスガスが所望の湿度に達するように、前記プロセスガスの湿度を制御するよう構成された、請求項 1 に記載のコントローラ。

【請求項 1 2】

前記水蒸気源が、水源、バルブおよびスプレーヘッドを備える；前記水蒸気源が蒸気発生器を備える；前記水蒸気源が、水が入ったバブラーを備え、該バブラーを経てガスに気泡が生じ得る；前記水蒸気除去装置がチラーである；前記水蒸気除去装置が凝縮器である；または前記水蒸気除去装置が熱交換器である、請求項 1 1 に記載のコントローラ。

【請求項 1 3】

前記プロセスガスの相対湿度を測定するよう構成された湿度センサをさらに備える；前記相対湿度値を表す信号をコントローラに伝達するよう構成された通信ポートをさらに備える；またはコントローラから制御信号を受信するよう構成された通信ポートをさらに備える、請求項 1 1 に記載のコントローラ。

10

【請求項 1 4】

前記湿度制御サブシステムが、制御信号を用いて、選択された前記水蒸気源および前記水蒸気除去装置のいずれかまたは両方を動作させるよう構成されている、請求項 1 1 に記載のコントローラ。

【請求項 1 5】

二酸化炭素との反応により硬化する材料を硬化させる硬化システムであって、ガス送給管およびガス回収管により互いに接続されたガス調節システムおよび硬化チャンバを備え、

20

前記硬化チャンバが、二酸化炭素との反応により硬化する前記材料を収容するよう構成され、

前記ガス調節システムが、二酸化炭素源と、ガスフローサブシステムと、温度制御サブシステムと、湿度制御サブシステムと、硬化プロセスパラメータを制御するためのサブシステムとを備え、

前記硬化プロセスパラメータを制御するための前記サブシステムが、二酸化炭素との反応により硬化する前記材料の硬化プロセスを制御するためおよび前記二酸化炭素との反応により硬化する前記材料の硬化状態を確認するために、第 1 の機械可読媒体に記録された命令集合の制御下で動作するよう構成されたマイクロプロセッサを備えたコントローラを備え、

30

前記硬化チャンバが、閉鎖容積部を画定する収納容器であって、プロセスガス中の二酸化炭素との反応により硬化する材料を収容するよう構成された壁部を備えるとともに、硬化する前記材料を前記収納容器に導入できるよう構成された閉鎖可能な開口部を備える収納容器と、

二酸化炭素を含む前記プロセスガスの前記収納容器への流入を可能にするよう構成された、入口ポートと、

前記プロセスガスの前記収納容器からの流出を可能にするよう構成された出口ポートとを備える、硬化システム。

【請求項 1 6】

前記収納容器内に位置するプレナムをさらに備え、

40

前記プレナムが、前記プロセスガスを前記収納容器に注入することができる 1 つまたは複数の場所を経由して前記プロセスガスを供給するよう構成されている、請求項 1 5 に記載の硬化システム。

【請求項 1 7】

前記プレナムが、前記収納容器内の前記プロセスガスの流速、流向およびフローパターンのうち少なくとも 1 つを制御するよう構成されている、請求項 1 6 に記載の硬化システム。

【請求項 1 8】

前記プレナムが、前記プロセスガスのフローを、硬化する前記材料の外部と硬化する前記材料内に画定された内部流経路とのいずれかまたは両方へ誘導するよう構成されている

50

、請求項 16 に記載の硬化システム。

【請求項 19】

前記入口ポートが、前記収納容器内の前記プロセスガスの流速、流向およびフローパターンのうち少なくとも 1 つを制御するよう構成されている、請求項 15 に記載の硬化システム。

【請求項 20】

前記出口ポートが、前記収納容器内の前記プロセスガスの流速、流向およびフローパターンのうち少なくとも 1 つを制御するよう構成されている、請求項 15 に記載の硬化システム。

【請求項 21】

前記壁部が可撓壁である、請求項 15 に記載の硬化システム。

【請求項 22】

前記可撓壁がプラスチック、マイラーおよびラテックスから選択されたいずれか 1 つから製造されている；または前記可撓壁が、熱エネルギーを保持するよう構成された塗膜を備える、請求項 21 に記載の硬化システム。

【請求項 23】

前記壁部が、対象のスペクトル領域で透明である材料で被覆された開口を備える、請求項 15 に記載の硬化システム。

【請求項 24】

少なくとも 1 つセンサが前記収納容器内に存在し、

前記少なくとも 1 つのセンサが、前記収納容器内の前記プロセスガスの性質および作用条件のいずれかまたは両方についてのデータを提供するよう構成されている、請求項 15 に記載の硬化システム。

【発明の詳細な説明】

【関連出願の相互参照】

【0001】

本出願は、2014 年 8 月 5 日に提出された同時係属の米国仮特許出願第 62 / 033 , 366 号の優先権および利益を主張し、同出願の全内容は参照することにより本明細書に組み込まれるものとする。

【技術分野】

【0002】

本発明は、概して、複合材料を硬化させるシステムおよび方法、特に、硬化する際の複合材料の水分含有率を制御するシステムおよび方法に関する。

【背景技術】

【0003】

多くの材料のシステム用の硬化チャンバ、例えば、特定の化学反応を生じる材料を扱うよう構成されたチャンバが当技術分野で知られている。従来の硬化チャンバに関連する問題として、コスト、動作の条件および場所に関する制限、および制御され得る硬化プロセスの精度が挙げられる。

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0004】

多用性、精度およびコスト低減をもたらす硬化チャンバおよび硬化方法が求められている。

【課題を解決するための手段】

【0005】

一態様によれば、本発明は、 CO_2 を硬化剤として必要とする材料を硬化させる硬化システムを特徴とする。この材料は CO_2 の不存在下では硬化しない。この材料は水を反応物として消費しない。この硬化システムは、材料を収容するよう構成された硬化チャンバを備え、当該材料は、 CO_2 を反応剤（または反応物）として消費し、 CO_2 の不存在下

10

20

30

40

50

では硬化しない。硬化チャンバは、材料が硬化チャンバに導入され、硬化チャンバから排出されるよう構成された少なくとも1つのポートを有し、少なくとも1つのポート用閉鎖部であって、硬化チャンバ外部のガスによる硬化チャンバ内に存在するガスの汚染を防止（または無害なレベルまで制限）するよう閉鎖したときに大気閉鎖を可能にするよう構成された閉鎖部と、硬化チャンバのガス流入ポートを通して気体状二酸化炭素を硬化チャンバに供給するよう構成された二酸化炭素源であって、硬化チャンバへの気体状二酸化炭素の流量を制御するよう構成された少なくとも1つの流量調整装置を有する二酸化炭素源と、 CO_2 を反応剤として消費する材料が硬化される期間中、硬化チャンバを通してガスを循環させるよう構成されたガスフローサブシステムと、チャンバ内のガスの温度を制御するよう構成された温度制御サブシステムと、チャンバ内のガスの湿度を制御して湿度を上昇または低下させるよう構成された湿度制御サブシステムと、二酸化炭素源、ガスフローサブシステム、温度制御サブシステム、および湿度制御サブシステムのうち少なくとも1つと接続する少なくとも1つのコントローラと、 CO_2 を反応剤として消費する材料が硬化される期間中、気体状二酸化炭素の流量、硬化チャンバを通るガスの循環、該ガスの温度および該ガス中の湿度のそれぞれの少なくとも1つを独立して制御するよう構成された少なくとも1つのコントローラとを有する。

10

【0006】

一態様によれば、本発明は、二酸化炭素との反応により硬化する材料を硬化させる硬化システムを特徴とする。この硬化システムは、ガス送給管およびガス回収管により互いに接続された、ガス調節システムおよび硬化チャンバを備え、該硬化チャンバが二酸化炭素との反応により硬化する材料を収容するよう構成され、ガス調節システムが二酸化炭素と、ガスフローサブシステムと、温度制御サブシステムと、湿度制御サブシステムと、硬化プロセスパラメータを制御するためのサブシステムとを備え、硬化プロセスパラメータを制御するためのサブシステムが、二酸化炭素との反応により硬化する材料の硬化プロセスを制御するために、第1の機械可読媒体に記録された命令集合の制御下で動作するよう構成されたマイクロプロセッサを有するコントローラを備える。

20

【0007】

一態様によれば、本発明はコントローラを特徴とする。このコントローラは、第1の機械可読媒体に記録された命令集合の制御下で動作するよう構成されたマイクロプロセッサであって、命令集合下で動作する際に、以下の工程を行うマイクロプロセッサを備える：二酸化炭素源、ガスフローサブシステム、温度制御サブシステムおよび湿度制御サブシステムの少なくとも1つの動作を制御する工程と、二酸化炭素を含むプロセスガスのフローを、プロセスガス中の二酸化炭素との反応により硬化する材料に接触するよう導入する工程と、プロセスガスフローの導入からの経過時間、プロセスガスが供給される際のプロセスガスの二酸化炭素濃度、相対湿度、流量、温度および圧力からなるパラメータ群から選択された少なくとも1つのパラメータを監視する工程と、監視されるパラメータの少なくとも1つの記録、監視されるパラメータの少なくとも1つの、データ処理システムへの伝送または監視されるパラメータの少なくとも1つの、ユーザへの表示のうち、少なくとも1つを行う工程。

30

【0008】

一実施形態において、マイクロプロセッサは命令集合下で動作する際に、外部ソースからの開始コマンドを受信する工程を行う。

40

【0009】

別の実施形態において、マイクロプロセッサは命令集合下で動作する際に、硬化チャンバへの搬入が適切に行われたかどうかを判断する工程を行う。

【0010】

また別の実施形態において、マイクロプロセッサは命令集合下で動作する際に、硬化チャンバの閉鎖が適切に行われたかどうかを判断する工程を行う。

【0011】

さらに別の実施形態において、マイクロプロセッサは命令集合下で動作する際に、二酸

50

化炭素との反応により硬化する材料の硬化状態を確認する工程を行う。

【0012】

さらなる実施形態において、マイクロプロセッサは命令集合下で動作する際に、二酸化炭素との反応により硬化する材料とのプロセスガスの接触が解除される際のプロセスガスの二酸化炭素濃度、相対湿度、流量、温度、圧力およびフロー持続時間からなるパラメータ群から選択された少なくとも1つのパラメータを監視する工程を行う。

【0013】

またさらなる実施形態において、マイクロプロセッサは命令集合下で動作する際に、硬化チャンバ内の1つまたは複数の場所における、二酸化炭素濃度、相対湿度、流量、温度および圧力からなるパラメータ群から選択された少なくとも1つのパラメータを監視する工程を行う。

10

【0014】

付加的な実施形態において、マイクロプロセッサは命令集合下で動作する際に、行うプロセスの1工程をなす、1つまたは複数のプロセスパラメータを表す、ユーザによる入力を受信する工程を行う。

【0015】

もう一つの実施形態において、マイクロプロセッサは命令集合下で動作する際に、プロセスレシピの1工程としてユーザによる入力を不揮発性機械可読媒体に記録する工程を行う。

【0016】

20

またさらなる実施形態において、マイクロプロセッサは命令集合下で動作する際に、不揮発性機械可読媒体に記録されたプロセスレシピの少なくとも1つの工程を取得する工程を行う。

【0017】

一実施形態において、第1の機械可読媒体および不揮発性機械可読媒体は同じ媒体である。

【0018】

別の態様によれば、本発明は、ガスフローサブシステムに関する。このガスフローサブシステムは、バルブ、流量調整器、マスフローコントローラ、ブロウおよびガス送給構造の少なくとも1つを備え、ガスフローサブシステムは、二酸化炭素を反応物として含むプロセスガスを、二酸化炭素との反応により硬化する材料に流体接触するよう供給するよう構成されている。

30

【0019】

一実施形態において、ガスフローサブシステムは、反応物として二酸化炭素を含むプロセスガスに加えて水蒸気に適応する。

【0020】

別の実施形態において、ガスフローサブシステムは、反応物として二酸化炭素を含むプロセスガスに加えて空気に適応する。

【0021】

また別の実施形態において、ガス送給構造は、二酸化炭素との反応により硬化する材料に埋設されている。

40

【0022】

さらに別の実施形態において、ガス送給構造は、二酸化炭素との反応により硬化する材料に隣接して配置されたガス透過層である。

【0023】

さらなる実施形態において、ガスフローサブシステムはコントローラから制御信号を受信するよう構成された通信ポートをさらに備える。

【0024】

またさらなる実施形態において、ガスフローサブシステムはプロセスガスの二酸化炭素濃度、相対湿度、流量、温度および圧力の少なくとも1つを符号化する信号をコントロー

50

ラに伝達するよう構成された通信ポートをさらに備える。

【0025】

付加的な実施形態において、ガスフローサブシステムはガス回収管状部をさらに備える。

【0026】

もう一つの実施形態において、ガスフローサブシステムはガス回収管状部に存在するガスの二酸化炭素濃度、相対湿度、流量、温度および圧力の少なくとも1つを符号化する信号をコントローラに伝達するよう構成された通信ポートをさらに備える。

【0027】

別の態様によれば、本発明は温度制御サブシステムに関する。この温度制御サブシステムは、ヒーターおよび冷却器から選択されたいずれかまたは両方を備え、温度制御サブシステムは、二酸化炭素を含むプロセスガスが該プロセスガス中の二酸化炭素との反応により硬化する材料と接触する前にプロセスガスが所望の温度に達するように、プロセスガスの温度を制御するよう構成されている。

【0028】

一実施形態において、温度制御サブシステムはガス温度を測定するよう構成されたセンサをさらに備える。

【0029】

別の実施形態において、センサは熱電対である。

【0030】

また別の実施形態において、温度制御サブシステムは相対湿度を測定するよう構成されたセンサをさらに備える。

【0031】

さらに別の実施形態において、温度制御サブシステムは、温度値および相対湿度値の少なくとも1つを表す信号をコントローラに伝送するよう構成された通信ポートをさらに備える。

【0032】

さらなる実施形態において、温度制御サブシステムはコントローラから制御信号を受信するよう構成された通信ポートをさらに備える。

【0033】

またさらなる実施形態において、温度制御サブシステムは、制御信号を用いて、選択されたヒーターおよび冷却器のいずれかまたは両方を動作させるよう構成されている。

【0034】

別の態様によれば、本発明は湿度制御サブシステムに関する。この湿度制御サブシステムは、水蒸気源および水蒸気除去装置から選択されたいずれかまたは両方を備え、湿度制御サブシステムは、二酸化炭素を含むプロセスガスが該プロセスガス中の二酸化炭素との反応により硬化する材料と接触する前にプロセスガスが所望の湿度に達するように、プロセスガスの湿度を制御するよう構成されている。

【0035】

一実施形態において、水蒸気源は、水源、バルブおよびスプレーヘッドを備える。

【0036】

別の実施形態において、水蒸気源は蒸気発生器を備える。

【0037】

また別の実施形態において、蒸気発生器は水中ヒーターを備える。

【0038】

別の実施形態において、水蒸気源は、水が入ったバブラーを備え、該バブラーを経てガスに気泡が生じ得る。

【0039】

また別の実施形態において、水蒸気除去装置はチラーである。

【0040】

10

20

30

40

50

さらに別の実施形態において、水蒸気除去装置は凝縮器である。

【0041】

また別の実施形態において、水蒸気除去装置は熱交換器である。

【0042】

さらなる実施形態において、湿度制御サブシステムは、プロセスガスの相対湿度を測定するよう構成された湿度センサをさらに備える。

【0043】

またさらなる実施形態において、湿度制御サブシステムは、相対湿度値を表す信号をコントローラに伝達するよう構成された通信ポートをさらに備える。

【0044】

付加的な実施形態において、湿度制御サブシステムは、コントローラから制御信号を受信するよう構成された通信ポートをさらに備える。

【0045】

もう1つの実施形態において、湿度制御サブシステムは、制御信号を用いて、選択された水蒸気源および水蒸気除去装置のいずれかまたは両方を動作させるよう構成されている。

【0046】

一態様によれば、本発明は硬化チャンバを特徴とする。この硬化チャンバは、閉鎖容積部を画定する収納容器であって、プロセスガス中の二酸化炭素との反応により硬化する材料を収容するよう構成された壁部を備えるとともに、硬化する材料を収納容器に導入できるよう構成された閉鎖可能な開口部を備える収納容器と、二酸化炭素を含むプロセスガスの収納容器への流入を可能にするよう構成された、入口ポートと、プロセスガスの収納容器からの流出を可能にするよう構成された出口ポートとを備える。

【0047】

一実施形態において、硬化チャンバは、収納容器内に位置するプレナムをさらに備え、プレナムはプロセスガスを収納容器に注入することができる1つまたは複数の場所を経由してプロセスガスを供給するよう構成されている。

【0048】

別の実施形態において、プレナムが収納容器内のプロセスガスの流速、流向およびフローパターンのうち少なくとも1つを制御するよう構成されている。

【0049】

また別の実施形態において、プレナムは、プロセスガスのフローを、硬化する材料の外部と硬化する材料内に画定された内部流経路とのいずれかまたは両方へ誘導するよう構成されている。

【0050】

さらに別の実施形態において、入口ポートは、収納容器内のプロセスガスの流速、流向およびフローパターンのうち少なくとも1つを制御するよう構成されている。

【0051】

さらなる実施形態において、出口ポートは、収納容器内のプロセスガスの流速、流向およびフローパターンのうち少なくとも1つを制御するよう構成されている。

【0052】

またさらなる実施形態において、壁部は可撓壁である。

【0053】

付加的な実施形態において、可撓壁はプラスチック、マイラー（登録商標）およびラテックスから選択されたいずれか1つから製造されている。

【0054】

もう1つの実施形態において、可撓壁は、熱エネルギーを保持するよう構成された塗膜を備える。

【0055】

またさらなる実施形態において、壁部は、対象のスペクトル領域で透明である材料で被

10

20

30

40

50

覆された開口を備える。

【0056】

もう1つの実施形態において、少なくとも1つセンサが収納容器内に存在し、少なくとも1つのセンサは、収納容器内のプロセスガスの性質および作用条件のいずれかまたは両方についてのデータを提供するように構成されている。

【0057】

別の態様によれば、本発明は現場打ち法に関する。この現場打ち法は、プロセスガス中の二酸化炭素との反応により硬化する材料を配置する場所を用意する工程と、用意された場所に、プロセスガス送給構造および二酸化炭素との反応により硬化する材料を配置する工程と、硬化する材料の硬化を生じさせるのに十分な期間、プロセスガス送給構造を通してプロセスガスを硬化する材料に供給する工程とを備える。

10

【0058】

一実施形態において、硬化プロセスの完了後、プロセスガス送給構造は硬化する材料とともに残存する。

【0059】

別の実施形態において、現場打ち法は、プロセスガス送給構造および二酸化炭素との反応により硬化する材料を、用意された場所に打設した後に被覆する工程をさらに備える。

【0060】

また別の実施形態において、プロセスガスを供給する工程は、プロセスガスが供給される際のフローの導入からの経過時間、プロセスガスの二酸化炭素濃度、相対湿度、流量、温度および圧力からなるパラメータ群から選択されたプロセスガスのパラメータの制御を含む。

20

【0061】

さらに別の実施形態において、現場打ち法は、二酸化炭素との反応により硬化する材料中に存在する水の量を制御する工程をさらに備える。

【0062】

さらなる実施形態において、硬化する材料中に存在する水の量を制御する工程は、材料からの水の除去および材料への水の添加のいずれかまたは両方を含む。

【0063】

本発明の上記のおよび他の目的、態様、特徴および利点は以下の記載および請求項により一層明らかになる。

30

【0064】

本発明の目的および特徴は、以下に示す図面および請求項を参照することにより一層よく理解することができる。図面は必ずしも一定の寸法比ではなく、概して本発明の原理を強調して示している。図面では、異なる図にわたって同様の参照番号を用いて同様の構成部品を示している。

【図面の簡単な説明】

【0065】

【図1】CO₂ 複合材料とともに用いる硬化システムの一実施形態の概略図である。

【図2】CO₂ 複合材料とともに用いる別の硬化システムの一実施形態の概略図である。

40

【図3】CO₂ 複合材料の細長い試料の硬化に適した硬化チャンバの斜視図である。

【図4】硬化するCO₂ 複合材料の細長い試料を収容した図3の硬化チャンバの図である。

【図5】硬化を行えるように閉鎖した図3の硬化チャンバの図である。

【図6】内部円形導管を有するCO₂ 複合材料のサンプルに硬化雰囲気を送給するために用いられるプレナムの画像である。

【図7】内部円形導管内のフローによって硬化されたCO₂ 複合材料のサンプルの画像である。

【図8】反応深さの差を流量の関数として示す画像である。

【図9】1つのファンおよび3つのファンを用いたシステムにおける、反応深さの差、立

50

方メートル毎分（CFM）でのガスフローおよび硬化したCO₂複合材料の試料から除去された水の量を示すグラフである。

【図10】異なる相対湿度を有するガスの流量の関数として水除去速度のデータを示すグラフである。

【図11】複合材料を屋外の場所に設置し硬化させるプロセスの工程を示すプロセスフローチャートである。

【図12】透過性CO₂複合材料の現場打ち領域へのガスの送給に用いられる有孔PVCグリッドを示す画像である。

【図13】図12のガス送給システム上に透過性CO₂複合材料がかけられているところを示す画像である。

10

【図14】プラスチックシート材で被覆され、そこに接続されたCO₂入口を有する透過性CO₂複合材料の一部を示す画像である。

【図15】図14の透過性CO₂複合材料部へのCO₂供給を制御するために用いられるガスフロー調整器および流量計を示す画像である。

【図16】図12の埋設されたCO₂送給システムを用いた22時間後の透過性CO₂複合材料の硬化した部分を示す画像である。

【図17】現場打ち法を用いてCO₂複合材料を設置し硬化させる工程を示すプロセスフローチャートである。

【図18】Enkavent（登録商標）材料へのおよびEnkavent（登録商標）材料を通したCO₂の送給を可能にする型枠を示す画像である。

20

【図19】現場打ち法で用いられる未硬化のCO₂複合材料混合物を示す画像である。

【図20】CO₂複合材料の打ち込み後の型枠1800およびCO₂を用いてCO₂複合材料を硬化するためのプロセスガス管の接続を示す画像である。

【図21】炭酸化硬化後のCO₂複合材料のスラブから切断された断面を示す画像である。

【図22】可撓性材料で製造された硬化チャンバの図である。

【図23】図22の硬化チャンバを形成するために設置される可撓性材料の図である。

【図24】図22の硬化チャンバの可撓性材料を剛体支持部に固定するためのクランプ法の図である。

【図25】いくつかの可撓壁およびいくつかの相対的に剛性のある壁部を有する硬化チャンバの別の実施形態の図である。

30

【図26】様々な硬化チャンバとともに用いることができるモジュール式ガス取扱システムの図である。

【図27】多数のガス送給ポートおよび多数のガス回収ポートを有するガス取扱システムを示す概略図である。

【図28】制御されるシステムの結線図を示す、硬化チャンバ用のコンピュータ制御システムの表示画面図である。

【図29】制御することができる多数の構成要素を示すとともに、測定されるパラメータ値をどう表示することができるかを示す、硬化チャンバ用のコンピュータ制御システムの表示画面図である。

40

【図30】硬化プロセスの様々な期間または工程のパラメータをユーザが入力し、あるいはユーザに表示することができるレシピ画面を示す、硬化チャンバ用のコンピュータ制御システムの表示画面図である。

【図31】曲線3110がCO₂の合計消費量を表し、曲線3120が相対湿度を表し、曲線3130が温度を表すグラフ3100を示す、硬化動作の履歴データの傾向レポートの表示画面図である。

【発明を実施するための形態】

【0066】

本発明は、材料中および材料の周囲の雰囲気条件を高い精度で制御することにより複合材料を処理するまたは「硬化させる」方法およびこの硬化に関係する設備に関する。

50

【0067】

(参照による援用)

本明細書で特定した特許、特許出願および特許公開広報、雑誌論文、書籍、公表論文または他の一般に入手可能な資料を参照することによりその全内容が本明細書に組み込まれる。本明細書に明確に記載された既存の定義、記述または他の開示資料とコンフリクトする、本明細書に組み込まれるとされる資料またはその一部分は、組み込まれる資料と本開資料との間でコンフリクトが生じない程度にのみ組み込まれる。コンフリクトが生ずる場合には、そのコンフリクトは本開示を好ましい開示として有利なように解消する。

【0068】

<CO₂ 複合材料>

10

本発明は、ガス状態で供給することができ、水和物（例えばH₂CO₃由来の水溶性炭酸塩）の状態で活性であると考えられる、二酸化炭素（CO₂）の存在下で硬化する材料の使用に一部依拠する。

こうしたプロセスにより生じる硬化された材料は、以降、「CO₂ 複合材料」（「CCM」）または「CO₂ 複合材料（群）」（「CCMs」）と総称する。様々な種類のCO₂ 複合材料の化学作用および調製については、2014年5月8日に公開された米国特許出願公開第20140127450A1号および2014年5月8日に公開された米国特許出願公開第20140127458A1号をはじめとした様々な特許文書に記載されている。

【0069】

20

CO₂ 複合材料は、相当する天然材料とほぼ同等の圧縮強度、曲げ強度および吸水率を示すとともに、美的な視覚的パターンを示し得る。CO₂ 複合材料は、低コストで、エネルギー使用量および炭素排出量が大幅に改善された効率的なガスアシスト熱水液相焼結（HLPS）プロセスを用いて製造することができる。実際、このプロセスの好ましい実施形態において、CO₂ は正味のCO₂ 隔離を生じる反応種として消費される。

【0070】

CO₂ 複合材料は、様々な色の視覚パターンなど、様々なパターン、質感および他の特徴を示すように調製することができる。さらに、CO₂ 複合材料は、従来のコンクリートとほぼ同等の圧縮強度、曲げ強度および吸水特性を示す。CO₂ 複合材料は、従来のコンクリートを硬化させるのに要する時間（例えば数日から数週間）から大幅に短縮された期間（例えば数時間）で、使用可能な状態まで硬化させることができる。

30

さらにまた、CO₂ 複合材料は省エネルギーのHLPSプロセスを用いて製造することができ、低コストで、有利な環境負荷で作製することができる。例えば、本発明の好適な実施形態において、CO₂ は、製造されるCO₂ 複合材料におけるCO₂ 隔離を生じる反応種として使用され、付随する炭素排出量は既存の製造技術は比較にならない。HLPSプロセスは、化学反応の自由エネルギーおよび結晶成長により引き起こされる表面エネルギー（面積）の減少により、熱力学的に進行する。HLPSプロセスの反応は低温度かつ適度な速度で進行し、これはすなわち、高融点流体または高温固相媒体を使用する代わりに、溶液（水性又は非水性）を使用して反応種を輸送するからである。

【0071】

40

HLPSの様々な態様の説明は、米国特許第8,114,367号、米国特許出願公開第2009/0143211号（出願番号12/271,566）、米国特許出願公開第2011/0104469号（出願番号12/984,299）、米国特許出願公開第2009/0142578号（出願番号12/271,513）、国際公開第2009/102360号（PCT/US2008/083606）、国際公開第2011/053598号（PCT/US2010/054146）、国際公開第2011/090967号（PCT/US2011/021623）、2012年3月2日出願の米国特許出願第13/411,218号（Riman他）、2012年6月7日出願の米国特許出願第13/491,098号（Riman他）、2012年10月1日出願の米国仮特許出願第61/708,423号）ならびにいずれも2012年10月4日出願の米国仮特許出願第

50

61/709号、第435、61/709、453号、第61/709、461号および第61/709、476号に見ることができ、各出願の全体があらゆる目的で参照により本明細書に明示的に組み込まれるものとする。

【0072】

「速度限定工程」または「速度限定工程群」の用語は、炭酸化反応にかかる時間を制限または制御する1つまたは複数の工程を指す。

【0073】

フロー（流れ）は、fps（フィート毎秒）での速度を用い、または容量に関してはcfm（平方フィート毎分）とした、速度および/または容量として説明されるガスの運動である。

10

【0074】

「温度」または「温度範囲」の用語は、システム全体の内部温度、ガス温度およびサンプル温度のうちの1つまたは複数を表す。

【0075】

用語「相対湿度」は、システム内でばらつく可能性のある特定の温度での、システム内のガス中の水蒸気の部分圧の、ガス中の水の飽和蒸気圧力に対する比率を表す。

【0076】

用語「CO₂濃度」は、システム内のガスの全容量により除されたシステム内のCO₂量をパーセントで表したものを指す。

【0077】

20

本発明は複合材料の炭酸化速度を、材料の乾燥速度を制御することにより最大化するプロセスを検討する。プロセスは持続時間が0～1000時間の炭酸化を含み得る。プロセスは、0%～100%の範囲内の透過性を有するCO₂複合材料を扱い得る。プロセスは、CCMの炭酸化深さが0インチ～36インチの範囲内のCO₂複合材料を扱い得る。プロセスは、CCMから除去される水の量がCCMの質量の0%～99%と等しいCO₂複合材料を扱い得る。

【0078】

本発明は、CCMを硬化させるために再循環ガス流を調節するために用いられる設備およびCCMを硬化させるためにこのような設備を用いるプロセスを包含する。ガス調節設備は、複合材料の硬化中の水除去に関連する速度限定工程を制御、削減または削除するプロセスを実行可能にする。この設備は、システム内の温度、相対湿度、流量、圧力および二酸化炭素濃度の制御を行い得るが、これらに限定されず、調節設備、CCMを収容するあらゆる容器および材料自体を含む。流量制御は、ガスの速度および組成の両方の均一性を達成する手段として用いることができる。

30

【0079】

設備は、様々なサブシステムを備えることができる。サブシステムは、硬化チャンバ、二酸化炭素源、ガスフローサブシステム、温度制御サブシステム、湿度制御サブシステム、および二酸化炭素源、ガスフローサブシステム、温度制御サブシステム、湿度制御サブシステムの少なくとも1つと接続するコントローラ、ならびにCO₂を反応種として消費する材料が硬化される期間中、ガス状二酸化炭素の流量、硬化チャンバ内のガスの循環、ガスの温度およびガスの湿度のそれぞれの少なくとも1つを個別に制御するよう構成された少なくとも1つのコントローラを備え得る。

40

【0080】

<硬化チャンバ>

様々な種類の硬化チャンバおよび装置をCCMsを硬化するために用いることができる。硬化チャンバおよび装置は、常設または半常設の施設に設ける場合もあれば、一定期間用いる場合もあり（例えば、一時的な設置）、使い切りの場合もある（例えば特定の場所におけるCCMの硬化、例えば、歩道、私道、車道、滑走路または構造物の補助スラブなど、屋外の場所用のスラブ形成のためのCCMの硬化）。図1および図2はCO₂複合材料とともに用いられる硬化システムの実施形態の概略図である。

50

【 0 0 8 1 】

ある実施形態においては、チャンバまたは収納装置自体を、硬化プロセスを1回行うかまたは少数回繰り返すよう設計してもよく、または硬化プロセスを不定の長い期間繰り返し続けるよう設計してもよい。ある実施形態においては、硬化された製品の価格と比較したチャンバの相対的なコストが、チャンバまたは収納装置の製造の材料と方法に関する基準となる。

【 0 0 8 2 】

< 二酸化炭素源 >

二酸化炭素は、十分なガス量を十分に高い純度で供給することができる都合のよい供給源から供給し得る。ある実施形態において、二酸化炭素源は、液体二酸化炭素から生成されたガスである。ある実施形態において、二酸化炭素源は、高圧シリンダー内のガスの形で供給されるガスである。ある実施形態において、二酸化炭素源は、浄化された二酸化炭素を供給できるよう処理された燃焼装置から排出される。

10

【 0 0 8 3 】

< ガスフローサブシステム >

ある実施形態においては、CCMの硬化に有用である必要なガス（例えばCO₂、水蒸気、空気および場合によっては他のガス）を供給するためのガスフローサブシステムを設ける。ガスフローシステムは、ガスフローを所望の流量（例えば適切な単位時間当たりの質量）、所望の圧力および所望の組成（例えば二酸化炭素：水：空気および場合によって他のガスの比または比率）で生成するのに適した、バルブ、流量調整器、マスフローコントローラおよびプロワのうちの1つまたは複数を構成要素として備える。硬化チャンバは、硬化チャンバ内の流量および流向とともにガスの入口および出口の物理的な位置を制御する構造をさらに備えることができる。

20

【 0 0 8 4 】

< 温度制御サブシステム >

ある実施形態では、所望のガス温度のガスの供給を可能にする温度制御サブシステムを設ける。温度制御サブシステムは、相対湿度などの温度依存性をもつ動作パラメータとともに、反応速度を温度の関数として制御するために有用である可能性がある。温度制御サブシステムは、1つまたは複数のヒーター、1つまたは複数の冷却器、ある特定の場所におけるガス温度を計測するよう構成された1つまたは複数のセンサおよびコントローラと通信するよう構成された通信ポートを備え得る。ある実施形態において、通信は一方方向性であり、例えばコントローラが、少なくとも1つのヒーターおよび冷却器の動作を生じさせることにより温度制御サブシステムを制御する制御信号を送信する通信である。別の実施形態では、通信は一方方向性であり、温度制御サブシステムが、温度および相対湿度などのパラメータを表す信号をコントローラに送信する。ある実施形態においては、信号は双方向で通信することができる。

30

【 0 0 8 5 】

< 湿度制御サブシステム >

ある実施形態では、システム内で使用されるプロセスガスの相対湿度の制御を可能にする湿度制御サブシステムを設ける。湿度制御サブシステムは、硬化プロセス中に相対湿度が低すぎる場合またはCCMに水を加えたい場合に、水蒸気を硬化チャンバに供給されるプロセスガスに加えるために用いることができ、硬化プロセス中に相対湿度が高すぎる場合またはCCMから水を抽出したい場合に硬化チャンバから排出または排気されたプロセスガスから水蒸気を除去するために用いることができる。例えば、水蒸気を加えるための装置を、水源、バルブおよびスプレーヘッドまたはスプレーノズルとすることができる。別の実施形態では、水蒸気を加えるための装置を蒸気発生器とすることができる。蒸気発生器は、水中ヒーターを備えることができる。別の実施形態では、ガスを水バブラーに通して気泡を生じさせることにより水蒸気を加えることができる。水を除去するための装置は、チラー、凝縮器または熱交換器とすることができる。湿度制御サブシステムは、プロセスガスが硬化チャンバに流入または硬化チャンバから流出する場所など、ガスフローシ

40

50

システム内の異なる場所、必要に応じて硬化チャンバ内またはガスフローサブシステム内の他の場所におけるプロセスガスの反応湿度を測定することができる湿度センサを備える。

【0086】

< 硬化プロセスパラメータを制御するためのサブシステム >

ある実施形態においては、硬化プロセスパラメータを制御するためのサブシステム（例えばコントローラ）を設けて、プロセスステップシーケンス、持続時間およびタイミングの制御を含めたCCMの硬化のための動作パラメータ、および硬化動作中に計測されたデータの記録のための動作パラメータを制御する。様々な実施形態において、コントローラは、二酸化炭素源、ガスフローサブシステム、温度制御サブシステムおよび湿度制御サブシステムのうちの少なくとも1つと連通する。ある実施形態においては、コントローラは、温度、湿度、流量、ガス圧、ガス組成その他のなどのプロセスに関するデータを提供するセンサと連通する。コントローラは、CO₂を反応種として消費する材料が硬化される期間中、ガス状二酸化炭素の流量、硬化チャンバ内のガスの循環、ガスの温度およびガスの湿度のそれぞれの少なくとも1つを個別に制御するよう構成される。

【0087】

通常、各サブシステムは、例えば従来の既製の機械式・電気的コネクタを用いて他のサブシステムに作動的に接続させることができる再利用可能なモジュールとして設けることができる。ある実施形態においては、その後、任意の硬化動作に必要とされ得る、各種サブシステムの1つまたは複数のモジュールを組み立てることにより完全な制御・動作システムを設けることができる。繰り返し行われることが予想される硬化手順では、完全な制御・動作システムをユニットとして設けることができる。制御・動作システムの一部に動作不良が生じた場合、動作不良の構成要素ではなくサブシステム全体を交換することにより比較的迅速に修理を行うことができ、その構成要素の修理を「オフライン」で、例えば、任意の硬化動作のための硬化プロセスに大きな影響を与えることなく行うことができるため、予想プロセス継続時間からわずかに逸脱するのみで硬化プロセスを遂行することができる。特に、CCMsは、一時的な動作不良のこのような修正に役立つが、これはCO₂の濃度が十分に下がると（例えば硬化ガス中でCO₂が不足する場合）CCMの硬化が単に停止するためである。これは、水（H₂O）の存在により引き起こされる従来のコンクリートの硬化と異なり、一般的に、従来のコンクリート混合物は一旦濡れると硬化を中断することができない。

【0088】

図1を参照すると、CO₂複合材料とともに用いる硬化システムの実施形態の概略図が示されている。図1には、ガス送給管140およびガス回収管142により互いに接続されたガス調節システム102および硬化チャンバ120が見られる。ガス調節システム102は、二酸化炭素源と、ガスフローサブシステムと、温度制御サブシステムと、湿度制御サブシステムと、硬化プロセスパラメータを制御するためのサブシステムとのそれぞれの要素を備える。図1の実施形態では、ガス送給管140およびガス回収管142は、都合のよい寸法の管状部、例えば6直径インチの金属管とすることができる。CO₂供給部130などのガス源および、必要に応じて空気および/または水蒸気などの他のガスの供給源を設ける。ガス送給・調節システムは、プログラマブルロジックコントローラ（PLC）または他のマイクロプロセッサを用いたコントローラ、例えば機械可読媒体に記録された命令集合を用いて動作可能な汎用プログラマブルコンピュータなどのコントローラ116を備えることができる。図1に示されるように、標準的な硬化チャンバ120は、ガスが硬化チャンバ内に注入される1つまたは複数の場所を通してガス雰囲気を供給し、硬化チャンバ120の異なる部分において流速またはフローパターンなどの所望の特性をもつガスフロー124を発生させるよう構成されたプレナム122を備えることができる。ある実施形態における硬化チャンバは、ガスの導入および必要に応じ除去を可能にする入口および出口を備え、処理されるCCMおよびプロセスガスを収容可能な収納装置のように単純なものである。このようなシステムのさらなる詳細を以下に提示する。

【0089】

図2は、CO₂複合材料とともに用いる別の硬化システムの実施形態の概略図である。図2に図示される構成要素の多くは図1に示されるものと同じであるが、追加のまたは異なる構成要素が存在する場合もある。例えば、図1および図2の実施形態の両方で、多数の熱電対または他の温度センサ(104、104'、104''、104'''、104''')、温度センサ104と総称)および複数の相対湿度センサ(106、106'、相対湿度センサ106と総称)が用いられ、相対湿度センサは例えば、二酸化炭素および水蒸気の乾湿比を利用する乾湿球センサまたは双極子分極水蒸気測定器または鏡面冷却湿度計または静電容量式湿度センサとすることができる。

【0090】

図2に図示されるように、例えばパージサイクル中、高流量の供給に用いることができるバルブ210、212および214などの異なるフロー制御路を経由して、またはより高い精度で制御された流量(通常、パージサイクルで用いられるよりも少ない流量)の供給に用いることができるバルブ220、222、フローコントローラ224およびバルブ226を経由して、CO₂供給部130をCO₂入口に接続することができる。図2に示される実施形態では、ガス調節システム102の接続に用いられる配管は、図1に図示されるシステム内で用いられるものよりも大きい可能性がある。例えば、配管は8インチのパイプとすることができる。もう1つの相違は、硬化チャンバに供給されるガスの加熱に用いられるヒーターの寸法であり、図1ではヒーターが6個の1.3kWヒータ(114)として図示される一方、図2の加熱システムは18個の1.8kWヒータ(214)を備える。理解されるように、いずれの特定のシステムにおいても、様々な構成要素の厳密な容量は、硬化チャンバ120内で硬化する材料の所期の量との関係で大きさが決まる。

【0091】

コントローラ116は、温度センサ104および相対湿度センサ106からデータを受信することができ、バルブ、チラー(または冷却器)110、チラー(または冷却器)熱交換器112、ブロウ108、ヒーター(114、214)およびCO₂供給部130と双方向に通信(例えば各部からデータを取得、コマンドを各部に送信)することができ、これにより、時間の関数としてデータを記録し、硬化チャンバ120内の搬入物の硬化状態についての判断を行い、硬化プロセスを制御するよう修正の操作または所定の操作を行うことを可能にする。コントローラ116はまた、ユーザからコマンドを受信し、ユーザに情報を表示し、データおよび時々発行される場合があるコマンドを記録することができ、これにより、硬化プロセスの記録を後に利用するために機械可読な形式で生成し得るようにする。

【0092】

<硬化チャンバ内のガスフロー>

様々な実施形態における硬化チャンバ内のガスフローは、本体外部のガスフロー、本体内部のガスフロー、有孔性または透過性の本体を通るガスフローまたはこのようなガスフローの組み合わせを含み得る。ガス送給システムは、様々な形を取り得る、ガス送給管140、ガス回収管142およびプレナム122を備える。ある実施形態では、プレナム122はガスをCO₂複合材料の成形体の外側に誘導する。他の実施形態では、プレナム122はガスをCO₂複合材料の成形体の内部流経路または開口部に誘導する。さらに別の実施形態では、プレナム122はガスをCO₂複合材料の成形体の外側と内部流経路または開口部との両方に誘導する。

【0093】

<内部ガス送給システム>

この種のガス送給システムは、配管システム中に分布する一連の穴を通して周辺のCO₂複合材料体にガスまたは流体を送給する、特定の間隔および寸法で格子状に連結された配管で構成される。さらに、ガス(二酸化炭素を含む)の供給は、CO₂複合材料中のCO₂の隔離量と整合またはほぼ整合するように調整される。これは、CO₂複合材料の一部を急速に硬化させる1つの方法である。典型的な内部ガス送給システムにおいては、CO₂複合材料サンプルの硬化後、配管システムがサンプル内部に埋め込まれたままである

。配管システムはさらに補強の手段としても機能することが可能であるとともに、圧縮空気または水による逆洗技術によって CO_2 複合材料の洗浄または維持管理を行う機能をもたらす。

【0094】

この手法の利点としては、硬化時間の低減、現場打ち CO_2 複合材料の使用に関連する炭素排出量の低減、 CO_2 複合材料から生じる残渣を逆洗する機能による透過性 CO_2 複合材料部の寿命改善および補強格子の存在が挙げられるが、これらに限定されない。ボルトランドセメントを用いたシステムによる透過性コンクリートの設置は通例、その範囲が使用可能になるまでに7日～28日の硬化期間を要する。このガス送給システムを用いることにより、 CO_2 複合材料の最終強度をわずか1日で達成することができる。以下に概説する試験では、 CO_2 の供給は、1時間当たり1.7kgに調整される。22時間後の結果は、炭酸塩化する可能性のある CO_2 複合材料に対して炭酸塩化度は40%であった。これは43%の CO_2 効率と相互関係にある。このデータに基づいて、 CO_2 複合材料の隔離量と整合するようガス供給量を制御することができ、 CO_2 の利用効率を改善するとともに、硬化プロセスの実行に必要な時間を最適化することができる。

10

【0095】

次に、枕木などの細長い試料を硬化するための内部ガス送給システムの実施形態について説明する。

【0096】

図3は、 CO_2 複合材料の細長い試料の硬化に適した硬化チャンバの斜視図である。図3の硬化チャンバは、フレーム部材320に支持された可撓壁310を有する。可撓壁310の閉止は重しを用いるか、または磁気ストリップング部材および磁気フレーム部材を用いることにより達成される。以下に、他の可撓壁システムについてより詳細に説明する。

20

【0097】

図4は、硬化される CO_2 複合材料の細長い試料410（枕木）を収容した図3の硬化チャンバの図である。

【0098】

図5は、硬化を行えるように閉鎖した図3の硬化チャンバの図である。この図では、可撓壁310が完全に展開されている。

30

【0099】

図3～図5に示されるようにシステムを使用する際、プロセスガスは、硬化されるCCMの長手を横断する少なくとも1つの内部開口に供給される。その後、成形体の内部から外部に向かって硬化が進行し得る。このような硬化プロセスのためにデータを得ておく。

【0100】

図6は、硬化雰囲気、内部円形導管を有する CO_2 複合材料のサンプルに送給するために用いられるプレナムの画像である。図6に見られるように、プレナム610は、円形の断面をもつパイプであり、硬化される CO_2 複合材料のサンプル内の円形導管と流体連通するよう配置することができる。

【0101】

図7は、内部円形導管710内のフローおよびサンプルの外部のガスフローによって硬化された CO_2 複合材料のサンプル700の画像である。図7に示されるように、サンプル700は、硬化された円形領域720、硬化された矩形周辺領域730および硬化領域720と硬化領域730の間の非硬化領域740を有する。これは、CCMを、内部のプロセスガスフローを用いて内側から、サンプルの外部のガスフローを用いて外側から硬化させる機能を示している。

40

【0102】

図8は、反応深さの差を流量の関数として示す画像である。図8では、調べた形状では、流量が大きいほど、同じ時間間隔でより深く硬化されたことが明らかである。

【0103】

50

図9は、反応深さの差、立方メートル毎分（CFM）でのガスフローおよび1つのファンおよび3つのファンを用いたシステムで硬化されたCO₂複合材料の試料から除去された水の量を示すグラフである。反応性ガスを移動させる容量が増えると、反応深さ、立方メートル毎分でのガスフローおよびCO₂複合材料の試料から除去された水の量がすべて増加することは明らかである。

【0104】

図10は、異なる相対湿度を有するガスの流量の関数として水除去速度のデータを示すグラフである。図10に見られるように、より大きな流量およびより低い相対湿度を用いることにより、水がサンプルから除去される速度が増加する傾向がある。CCMのCO₂との反応は、水飽和したCCMがガス状CO₂と接する界面で優先的に起こるため、より急速な水の除去はより早い硬化速度と相互に関係すると考えられる。

10

【実施例】

【0105】

実施例 - （透過性CO₂複合材料を定位置で硬化させる）

【0106】

透過性CO₂複合材料を定位置（現場）で硬化させるプロセスを図11～図16に示す。これは、建物の側面に接する地面への設置である。これは、まさに屋外の現場打ちの適用の例である。

【0107】

図11は複合材料を屋外の場所に設置し硬化させるプロセスの工程を示すプロセスフローチャートである。プロセスは複数の工程に分けられる。工程1110では、CO₂複合材料を打設し硬化させる場所を用意する。これは、掘削、床付け、型枠設置等を含み得る。工程1120では、透過性CO₂複合材料の第1の層を注入または打設する。CO₂複合材料を打設する作業は、CO₂複合材料の配合物または混合物の施工性によって、打ち込み、注入、振動、圧入などのうちのいずれか1つまたは複数を用いて硬化される本体の成型を含む。

20

【0108】

工程1130では、ある実施形態では壁部に穴が画定された管またはパイプとすることができるガス送給構造を配置または設置する。図12は、透過性CO₂複合材料の現場打ち領域へのガスの送給に用いられる有孔PVCグリッド1210を示す画像である。硬化する材料の第1の層1220も見られ、ガス接続部1230も見ることができる。

30

【0109】

工程1140では、ガス送給構造上に透過性CO₂複合材料の第2の（最終）層を注入または打設する。図13は、図12のガス送給システム1210上に透過性CO₂複合材料1310がかけられているところを示す画像である。しかしながら、ガス送給構造および硬化する材料の所望の場所への設置はいずれの順序でも行うことができることを理解されたい。順序として、ガス送給構造を先に定位置に配置し、その後硬化する材料を配置するか、または硬化する材料を先に設置し、その後ガス送給構造を設置することが挙げられる。

【0110】

工程1150では、打設された材料を例えばタール塗り防水シート（「防水シート」）で覆い、ガスを連結させる。図14は、プラスチックシート材1410で被覆され、ガス接続部1230に接続されたCO₂入口1420を有する透過性CO₂複合材料の一部を示す画像である。

40

【0111】

打設された混合物を硬化させる前に、空気乾燥、脱水またはガス再循環調節のうち1つまたは複数を用い、未硬化のCO₂複合材料を乾燥させるかまたは材料から余分な水を除去して硬化プロセスを開始するために材料を適切な状態にすることが必要である場合がある。ある実施形態においては、未硬化のCO₂複合材料の乾燥した混合物に水を加えることが必要である場合がある。

50

【0112】

工程1160では、CO₂複合材料を硬化させるためにガスを供給する。図15は、図14の透過性CO₂複合材料部へのCO₂供給を制御するために用いられるガスフロー調整器および流量計を示す画像である。図15には、高圧調整器1510、低圧調整器1520、ガス送給配管1530、CO₂質量流量計1540およびCO₂質量流量読み取り部1550が見られる。

【0113】

図16は透過性CO₂複合材料の、図12の埋設されたCO₂送給システムを用いて硬化された部分の22時間後を示す画像である。

【0114】

ある実施形態においては、硬化プロセス中の動作パラメータを監視できるようにセンサをCO₂複合材料の容積内に配置することができる。このようなセンサは一般的に、CO₂複合材料が硬化された後に通常除去および回収されず、恒久的にCO₂複合材料内に固定されるという点で、犠牲用であるかまたは「使い切りセンサ」である。

【0115】

実施例 - (現場打ち硬化システム)

現場打ち硬化システムは、密閉容器の不存在下でCO₂複合材料を炭酸化させるシステムおよび方法に関係する。この「現場打ち」硬化技術は、CO₂複合材料の打ち込み部を通してCO₂を拡散させる層として用いられるガス透過障壁の使用に関係する。これは、急速な強度発現および二酸化炭素ガスの恒久的な隔離のための手法であり、現場打ちコンクリートの使用に関連する炭素排出量の低減に繋がる。このプロセスは温度制御または密閉された容器を必要としないため、すべての既存の炭酸化硬化技術と比較してエネルギー消費量が少ない。上記の現場打ち技術を高密度のCO₂複合材料とともに用いることにより有意水準の強度(+2,000psi)が達成されることを論証したのは初めてのことである。

【0116】

CO₂複合材料は、「ボトムアップ」炭酸塩化硬化プロセスによって炭素塩化した。この試験は、2,000psiを上回る圧縮強度を有するCO₂複合材料スラブの製造を、密閉容器を使用せずに成功させた炭酸化に関係する。

【0117】

CO₂送給面を広くするためにガス透過層の生成にEnkavent(商標)材料を用いて、現場打ちシステム内での炭酸化を可能にした。

【0118】

図17は、現場打ち法を用いてCO₂複合材料を設置し硬化させる工程を示すプロセスフローチャートである。工程1710では、CO₂複合材料が打ち込まれ硬化される場所に材料を配置することにより、透過被膜を備えたEnkavent層を用意する。工程1720では、現場打ちされるCO₂複合材料を注入(または設置)する。工程1730では、硬化システムガス管をEnkavent層と流体連通させる。工程1740では、ガスをEnkavent層に流し始める。工程1750では、所望の硬化を生じさせるのに十分な期間、CO₂ガスを供給してCO₂複合材料を硬化させる。

【0119】

図18は、Enkavent材料へのおよびEnkavent材料を通したCO₂の送給を可能にする型枠1800を示す画像であり、所望の寸法および形状でCO₂複合材料を収容するよう枠組み1810が配置されている。図18に見られるように、型枠1800は、Enkavent材料1820の層を支持する有孔スクリーン1830の下にプロセスガスを導入するガス送給管1840を有する。Enkavent材料は、エンカ(ノースカロライナ州)のBASF Corporationの一部門であるEnka Geomatrix Systemsおよびその承継会社であるColbond, Inc.から市販される。Enkavent材料は、米国特許第4,212,692号、米国特許第5,960,595号および米国特許第6,487,826号で、より詳細に説明されて

10

20

30

40

50

いる。CO₂ 複合材料は、Enkavent 材料に近接して配置される。

【0120】

図19は、現場打ち法で用いられる未硬化のCO₂ 複合材料混合物を示す画像である。

【0121】

図20は、CO₂ 複合材料の打ち込み後の型枠1800およびCO₂ 複合材料を硬化するためのプロセスガス管のCO₂ への接続を示す画像である。

【0122】

図21は、炭酸化硬化後のCO₂ 複合材料のスラブから切断された断面2110を示す画像である。

【0123】

<可撓壁硬化チャンバ>

CO₂ 複合材料の試験片の硬化に用いることができる別の種類の硬化チャンバを図22～図24に図示する。これは、可撓性の材料、例えばプラスチックシート材料からなるチャンバであり、可撓壁を有するチャンバを形成する。好適な一実施形態では、可撓性の材料は、赤外放射を反射するよう、反射層、例えばアルミニウムで被覆する場合がある。同様の材料は、人の体温をより簡単に保てるように、人命救助作業に用いられる、またはレースの終わりにマラソン走者に渡される、ブランケットまたはボンチョに一般的に用いられる。

次に説明する実施形態では、チャンバ内に配置されたCO₂ 複合材料の試験片の硬化に用いられるガスを収容するよう壁部が設けられ、組成、温度、相対湿度および流量などのガスの性質を制御することができるようにする。ある実施形態においては、ガスの性質および硬化動作中のチャンバ内の状態についてのデータを提供するために、チャンバ内にセンサが配置される場合がある。

【0124】

図22は、クランプシステムにより剛体基礎2220に取り付けられた、可撓性材料2210で製造された硬化チャンバ2200の図である。一実施形態では、可撓性材料は、金属化プラスチックシートである。可撓性材料として使用可能な他の材料は、MYLAR（登録商標）およびラテックスである。

【0125】

図23は、可撓性材料を設置して図22の硬化チャンバを形成する際の図である。

【0126】

図24は、図22の硬化チャンバの可撓性材料を剛体支持部に固定するためのクランプ法の図である。図24に図示されるように、剛体基礎2410と可撓性シート2420は、剛体ロッド2430およびクランプ2440を用いて接続される。図示された実施形態では、剛体ロッド2430は正方形または矩形の断面を有する。ある実施形態では、より気密性の高い封止をもたらすよう、剛体基礎2410と可撓性シート2420の結合面の間に変形可能なガスケット2450を配置してもよい。ガスケット2450は、硬化ガスと化学的に適合し、剛体基礎2410と可撓性シート2420の結合面の間で圧縮される際に実質上気密性の封止をなすよう十分に柔軟な材料であればよい。ガスケットとして用いることができるこのような材料の例は、独立気泡発泡プラスチックシートおよび石油系ジェルなどの粘性液体である。他の実施形態では、硬化雰囲気と適合する液体、例えば水を充填した導管を、剛体基礎2410と可撓性シート2420の結合面が位置する場所に設けることができる。

【0127】

図25は、いくつかの可撓壁2510およびいくつかの相対的に剛性のある壁部2520を有する硬化チャンバ2500の別の実施形態の図である。図25に示す実施形態では、開口2530を、可視または赤外などの対象のスペクトル領域で透明である材料で被覆することにより、視認または計器を用いた電磁放射観測、例えば光学高温測定、またはガスフロー測定もしくはガス組成測定を行うことができる。2540は、前述のガス調節システム102への接続に用いられる継手である（例えば、2540はガス送給管140お

10

20

30

40

50

よびガス回収管 1 4 2 のいずれか 1 つへの接続部として用いられる)。

【 0 1 2 8 】

< モジュール式ガス取扱システム >

図 2 6 は、様々な硬化チャンバとともに用いることができるモジュール式ガス取扱システムの図である。

【 0 1 2 9 】

図 2 7 は、硬化チャンバ 2 7 2 0 との流体連通のために、多数のガス送給ポート 2 7 3 0、2 7 3 0'、2 7 3 0'' および多数のガス回収ポート 2 7 4 0、2 7 4 0'、2 7 4 0'' を有するガス取扱システム 2 7 1 0 を示す概略図である。図 2 7 のモジュール式ガス取扱システムは、コントローラの制御下で並列に動作する、図 2 6 の多数のモジュール式ガス取扱システムとみなすことができる。図 2 7 のガス取扱システムを用いて、個別に制御された流量、ガス組成およびガス温度を有するガスフローを供給することにより、単一の硬化チャンバの特定の領域用に調整されたガスフローを供給し、制御することを可能にする。必要に応じて、複数組のセンサを設けることにより、各ガスフロー流を個別に監視し、制御することができる。

【 0 1 3 0 】

< コンピュータを利用した制御システム >

硬化システムの動作をより簡便に制御するために、二酸化炭素源、ガスフローサブシステム、温度制御サブシステムおよび湿度制御サブシステムのうちの少なくとも 1 つと連通する少なくとも 1 つのコントローラが設けられる。この少なくとも 1 つコントローラは、CO₂ を反応種として消費する材料が硬化される期間中、硬化プロセスのために供給されるガスの組成、二酸化炭素の流量、硬化チャンバを通るまたは硬化される CCM を通るガスの循環の流量または速度、硬化チャンバを通るガスの循環の方向、ガスの温度、およびガス中の湿度のそれぞれの少なくとも 1 つを個別に制御するよう構成される。

【 0 1 3 1 】

好適な一実施形態では、コントローラは、機械可読媒体に記録された命令集合下で動作する汎用コンピュータ、または以下により詳しく説明する同様の電子デバイスである。ある実施形態においては、コントローラを無効にするか、または作業者の指示通りに行われる特定の命令をコントローラに提供することにより、作業者が硬化プロセスの動作のいくつか(またはすべて)を制御することができる。例えば、硬化チャンバの調整、硬化される CCM 材料の搬入、硬化サイクルの終わりの硬化された材料の搬出などに関する、硬化プロセスのいくつかの工程は、人間の作業者の制御下でより簡便に実行され得る。多くの場合、人間の作業者は、CCM 材料自体のばらつきおよびプログラムされたコントローラの処理よりも機械的に処理したほうがどの程度簡単であるかを考慮することができる。準備工程が完了した後、人間の作業者はプロセスの制御を、硬化時間の継続時間中、プロセスを制御することができるコントローラに引き継ぐことができる。コントローラを用いる別の利点は、コントローラが、目標とされる動作パラメータのログを記録および生成することができるとともに、硬化プロセス中に測定された、対応する実際のパラメータを記録することができるため、特定のプロセスを制御する命令を再プログラムすることにより、時間とともに硬化プロセスの精度を上げることができ、実際に測定された動作パラメータを目標とする値により近づかせることができることである。制御のこのような改善のよく知られた例は、所望の定常値に近づく際、アンダーシュート(低すぎる値)およびオーバーシュート(高すぎる値)を最小限にすることを試みつつ、一定期間後に最終的に定常状態を達成する変更をパラメータに設定しようとする際に比例・積分・微分(PID)制御を用いることである。

【 0 1 3 2 】

図 2 8 は、コンピュータを利用した硬化チャンバ用の制御システムの表示画面図であり、制御されるシステムの結線図を示す図である。図 2 8 では、硬化チャンバ 2 8 1 0、ガス取扱システムの構成要素 2 8 2 0、リアルタイムで(例えば、実質的にプロセスが進行するその時の現在時刻に)ガス組成、温度、圧力、相対湿度、ブロウ速度または流量など

のプロセスパラメータを表示するための複数のデータウィンドウ 2 8 3 0 の結線図、C O₂ 源 2 8 4 0 および関連するバルブの結線図、ならびに水 / 水蒸気源 2 8 5 0 の結線図が示されている。

【 0 1 3 3 】

図 2 9 は、コンピュータを利用した硬化チャンバ用の制御システムの表示画面図であり、制御することができる多数の構成要素を示すとともに、測定されるパラメータ値をどう表示することができるかを示す図である。図示される表示画面図は、ブロワ、ヒーター、バルブその他など、様々な構成要素の状態 2 9 1 0、温度、相対湿度、C O₂ の割合その他などの様々な動作パラメータの所望のまたは設定された値 2 9 2 0 が表示された診断パネルである。様々なセンサにより提供される最新の測定値 2 9 3 0 および監視されている工程（ここでは「パージ（p u r g e）」）および制御されているいくつかのパラメータの表示部 2 9 4 0 が示されている。表示される診断情報は、プロセス中の工程によって異なり得る。

10

【 0 1 3 4 】

図 3 0 は、コンピュータを利用した硬化チャンバ用の制御システムの表示画面図であり、硬化プロセスの様々な期間または工程のパラメータをユーザが入力し、あるいはユーザに表示することができるレシピ画面を示している。図に見られるように、レシピ画面は、個別の工程 3 0 1 0 をその所望の動作パラメータとともに入力するために用いることができる。「ボタン」一式 3 0 2 0 を設けて、ガス組成（例えば「C O₂ c o n t r o l（制御）」のラベルが付されたボタン）、相対湿度条件（例えば「R H c o n t r o l（制御）」のラベルが付されたボタン）、コントローラ自体の動作（例えば「P I D c o n t r o l（制御）」のラベルが付されたボタン）および多くの他のパラメータの制御など、硬化動作の異なる部分を簡便に選択できるようにしている。レシピを機械可読媒体または記憶域に保存し、あるいは以前に保存されたレシピを記憶域から呼び出すためのボタンも設けられている。ある実施形態においては、画面自体がタッチパネルである。ある実施形態においては、マウスなどのポインティングデバイスを用いてもよい。ある実施形態においては、データまたはコマンドの入力に、キーボード、数値パッドおよび / または「オンスクリーン」キーボードを用いてもよい。

20

【 0 1 3 5 】

図 3 1 は、硬化動作の履歴データの傾向レポートの表示画面図であり、曲線 3 1 1 0 が C O₂ の合計消費量を表し、曲線 3 1 2 0 が相対湿度を表し、曲線 3 1 3 0 が温度を表すグラフ 3 1 0 0 を示す図である。

30

【 0 1 3 6 】

（定義）

本明細書中で明記しない限り、電子信号または電磁信号（またはその等価物）への言及は、不揮発性電子信号または不揮発性電磁信号に言及するものと理解されたい。

【 0 1 3 7 】

例えば特定の周波数または波長での結果の記録など、動作またはデータ収集の結果の記録は、出力データを記憶素子に、機械可読記憶媒体に、または記憶装置に、非一時的（固定的）に書き込むことを意味し、本明細書中でそのように定義されることが理解される。本発明で用いることができる非一時的機械可読記憶媒体として、磁気フロッピーディスクおよびハードディスクなどの電子、磁気および / または光記憶媒体；ならびに実施形態によっては D V D ディスク、いずれかの C D - R O M ディスク（即ち、読み取り専用光記憶ディスク）、C D - R ディスク（即ち、ライトワンスリードメニー光記憶ディスク）および C D - R W ディスク（すなわち書換可能な光記憶ディスク）を用いることができる D V D ドライブおよび C D ドライブ；ならびに例えば R A M、R O M、E P R O M、コンパクトフラッシュカード、P C M C I A カードまたは別の選択肢として S D または S D I O メモリなどの電子記憶媒体；ならびに内蔵され、記憶媒体からの読み取りおよび / または記憶媒体への書き込みを行う電子部品（例えばフロッピーディスクドライブ、D V D ドライブ、C D / C D - R / C D - R W ドライブ、またはコンパクトフラッシュ / P C M C I A

40

50

／SDアダプタ)が挙げられる。明記されない限り、本明細書における「記録」または「記憶」への言及は、非一時的記録または非一時的記憶に言及するものと理解される。

【0138】

機械可読記憶媒体技術の当業者に知られるように、データ記憶の新しい媒体および形式は絶えず考案されており、特に、より大きな記憶容量、より高いアクセス速度、より小型であることおよび記憶情報の1ビット当たりのコストがより低いことのいずれかがもたらされる場合、将来利用可能となる可能性のあるいずれかの便利な市販の記憶媒体および対応する読み取り／書き込みデバイスが使用に適していると考えられる。穿孔紙テープまたはカード、テープまたは針金への磁気記録、印刷文字の光読み取りまたは磁気読み取り(例えばOCRおよび磁気的に符号化された記号)および一次元または二次元のバーコードなどの機械可読記号など、周知の旧式の機械可読媒体も特定の条件下で利用可能である。後の利用のために画像データを記録する(例えば画像をメモリまたはデジタルメモリに書き込む)ことにより、出力として、ユーザへ表示するためのデータとして、または後に使用するために利用可能にしたデータとして、記録された情報を使用することができる。このようなデジタルメモリ素子またはチップは、独立したメモリデバイスとすることができ、または対象のデバイスに内蔵することができる。本明細書中、「出力データの書き込み」または「画像のメモリへの書き込み」は、書き込み変換されたデータをマイクロコンピュータ内のレジスタに書き込むことを含むものとして定義される。

【0139】

本明細書中、「マイクロコンピュータ」は、マイクロプロセッサ、マイクロコントローラおよびデジタルシグナルプロセッサ(「DSP」)の類義語として定義される。マイクロコンピュータにより使用されるメモリ、例えば「ファームウェア」としてコード化されたデータ処理の命令を含むメモリは、マイクロコンピュータチップの内部で物理的にメモリ内、またはマイクロコンピュータの外部のメモリ内、または内部メモリと外部メモリの組合せ内に存在することができることが理解される。同様に、アナログ信号は独立型のアナログ?デジタル変換器(「ADC」)または1つもしくは複数のADCによってデジタル化することができ、あるいは多重ADCチャネルがマイクロコンピュータパッケージ内に存在する場合もある。また、フィールドプログラマブルアレイ(「FPGA」)チップまたは特定用途向け集積回路(「ASIC」)チップが、ハードウェア論理、マイクロコンピュータのソフトウェアエミュレーション、または双方の組合せでマイクロコンピュータ機能を果たすことができることが理解される。本明細書に記載の発明の特徴のいずれかを有する装置は、1つのマイクロコンピュータ上で完全に動作することが可能であり、あるいは複数のマイクロコンピュータを備えることができる。

【0140】

計器装置の制御、信号の記録および信号または本明細書に記載のデータの分析に有用な汎用のプログラム可能なコンピュータは、パーソナルコンピュータ(PC)、マイクロプロセッサを利用したコンピュータ、ポータブルコンピュータまたは他の種類の処理装置のいずれかとすることができる。汎用のプログラム可能なコンピュータは、一般的に、中央演算処理装置と、記憶装置または機械可読記憶媒体を用いて情報およびプログラムの記録および読み取りを行うことができるメモリユニットと、有線通信装置または無線通信装置などの通信端末と、表示端末などの出力装置と、キーボードなどの入力装置とを備える。表示端末は、タッチパネルディスプレイとすることができ、その場合、表示装置および入力装置の両方として機能することができる。マウスまたはジョイスティックなどのポインティングデバイスなどの他の入力装置および／または追加の入力装置が存在する場合があります。発音装置、例えばスピーカ、補助ディスプレイまたはプリンタなどの他の出力装置または追加の出力装置が存在する場合もある。コンピュータは、例えばWindows、MacOS、UNIXまたはLinuxのそれぞれのいくつかのバージョンのいずれか1つなど、多様なオペレーティングシステムのいずれか1つを実行することができる。汎用コンピュータの動作中に得られる計算結果は、後の利用のために記憶することができ、さらに／またはユーザに表示することができる。少なくとも、各マイクロプロセッサを

利用した汎用コンピュータは、マイクロプロセッサ内の各計算工程の結果を記憶するレジスタを有し、その結果は、その後、後の利用のために通常キャッシュメモリに記憶され、これにより結果の表示、不揮発性メモリへの記録またはさらなるデータ処理および分析での使用が可能となる。

【0141】

(理論的検討)

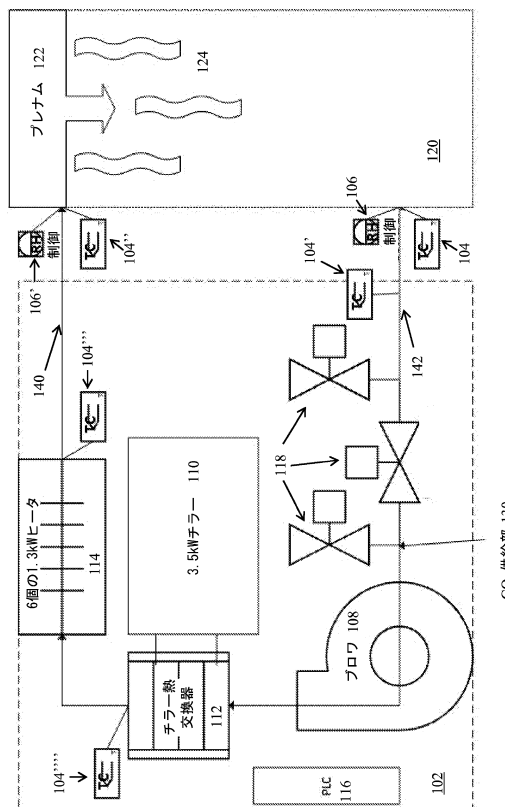
本明細書に示される理論的な説明は正しいと考えられるが、本明細書に記載し特許請求する装置の動作は理論的説明の正確さまたは妥当性に依存しない。即ち、確認された結果を、本明細書に示す理論と異なる根拠に基づいて説明し得る後の理論発展により、本明細書に記載する本発明が損われることはない。

【0142】

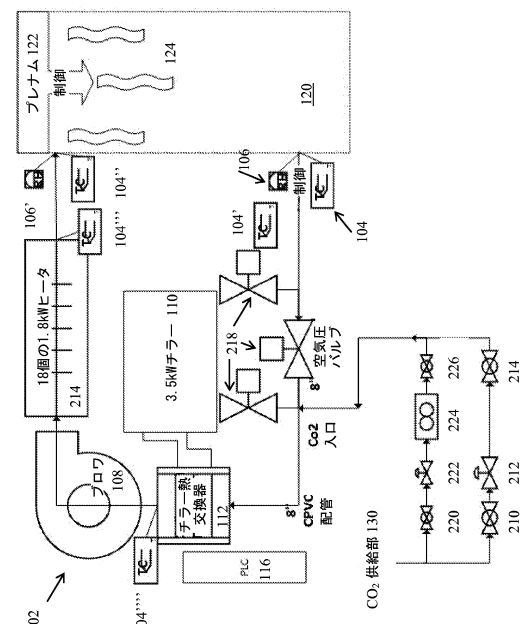
図面に示した好ましい形態に基づき本発明を具体的に示し説明したが、請求項により規定される本発明の要旨および範囲から逸脱することなく細部の様々な変更を実行可能であることは当業者に理解されるであろう。

10

【図1】



【図2】



【図 3】



FIG. 3

【図 4】



FIG. 4

【図 5】



FIG. 5

【図 6】

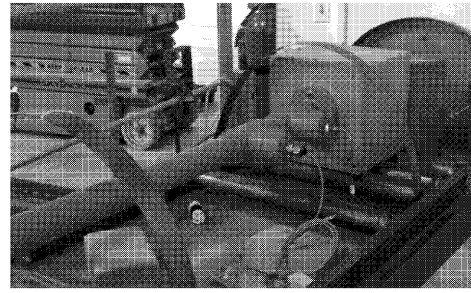


FIG. 6

【図 7】

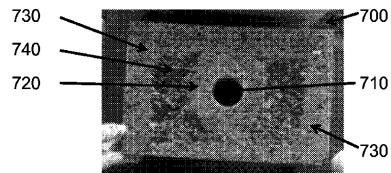


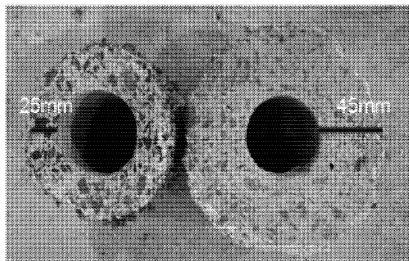
FIG. 7

【図 8】

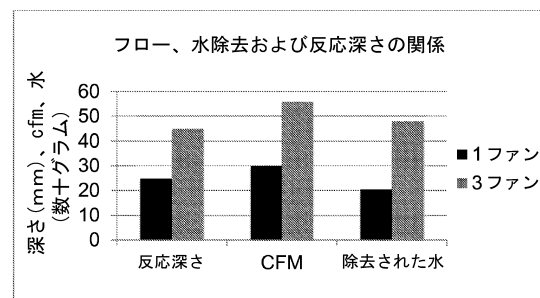
流量の関数としての反応深さの差

23 fps	42.5 fps
30.54 cfm	55.63 cfm
15.9 mph	29 mph

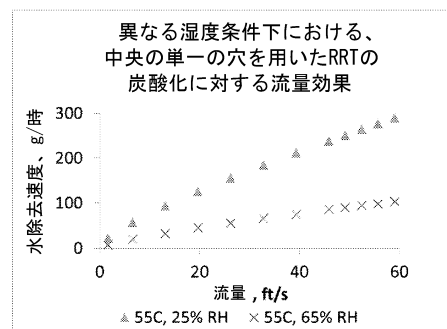
サンプル中央から切り出されたサンプル



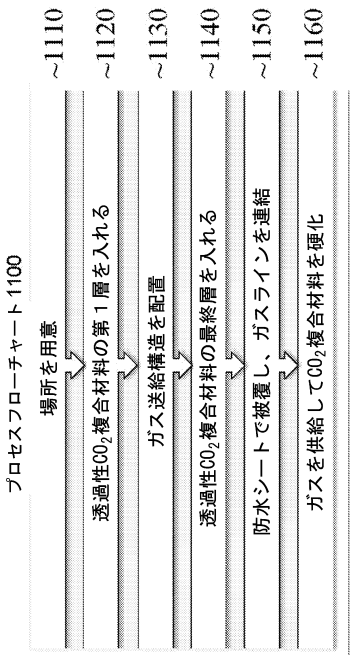
【図 9】



【図 10】



【図 1 1】



【図 1 2】

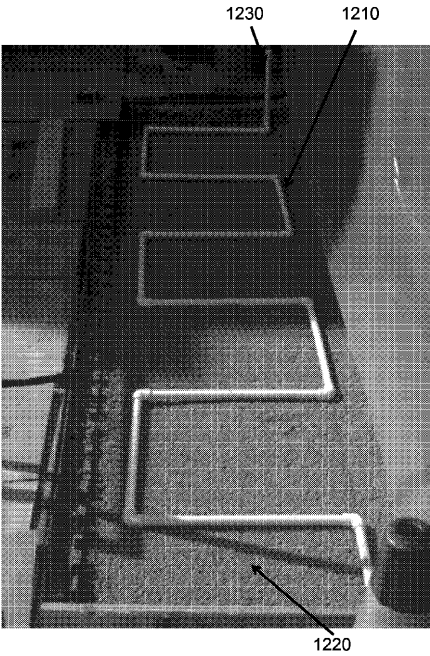


FIG. 12

【図 1 3】

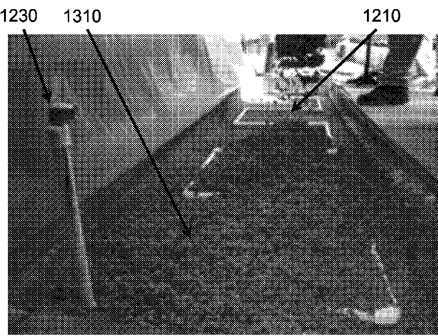


FIG. 13

【図 1 5】

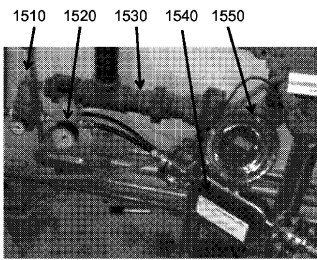


FIG. 15

【図 1 4】

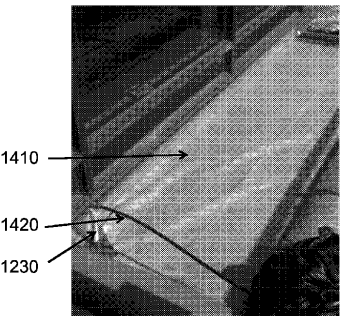


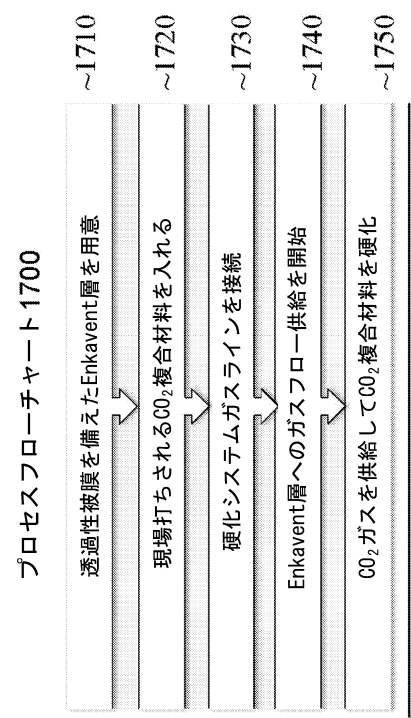
FIG. 14

【図 16】



FIG. 16

【図 17】



【図 18】

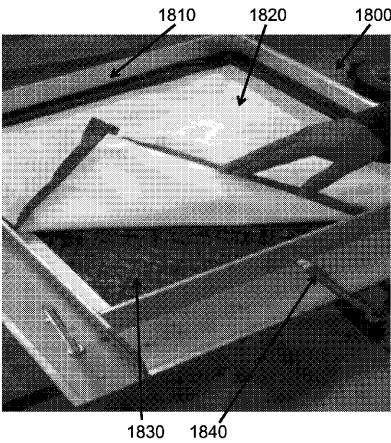


FIG. 18

【図 19】

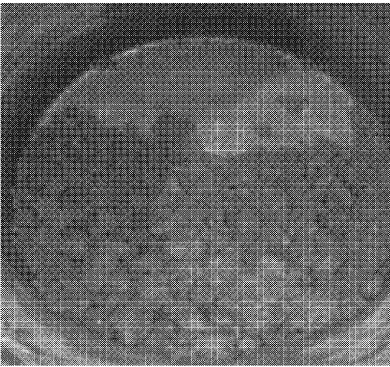


FIG. 19

【図 20】

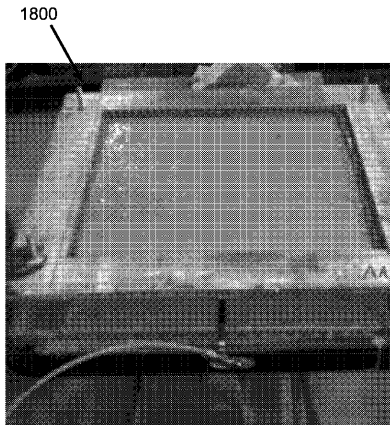


FIG. 20

【図 21】

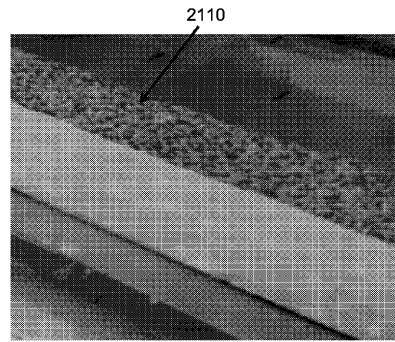


FIG. 21

【図 22】

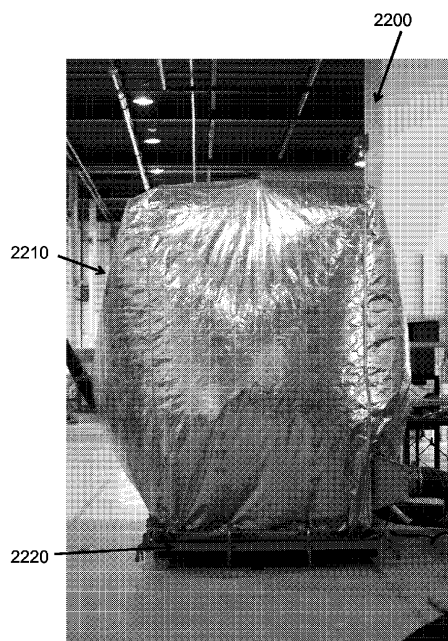


FIG. 22

【図 23】



FIG. 23

【図 24】

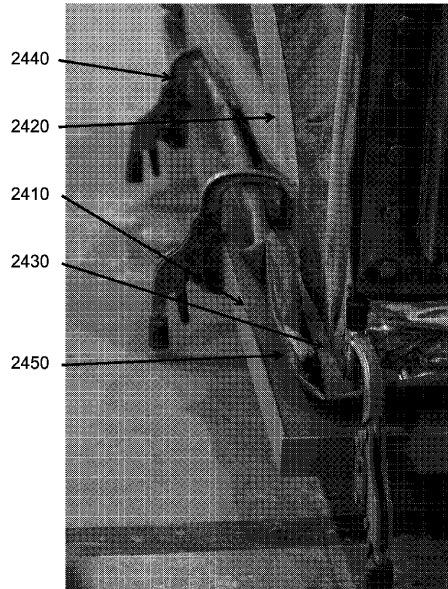


FIG. 24

【図 25】

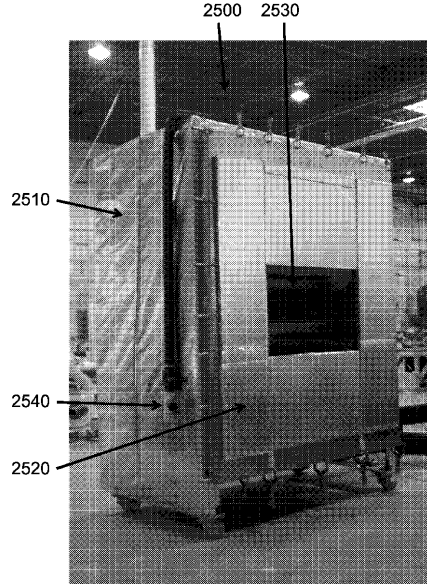


FIG. 25

【図 26】

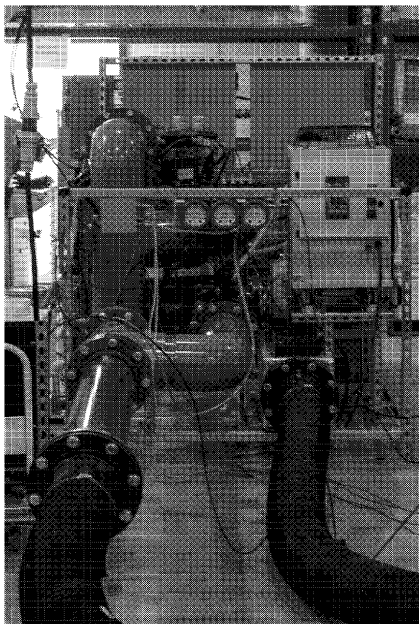


FIG. 26

【図 27】

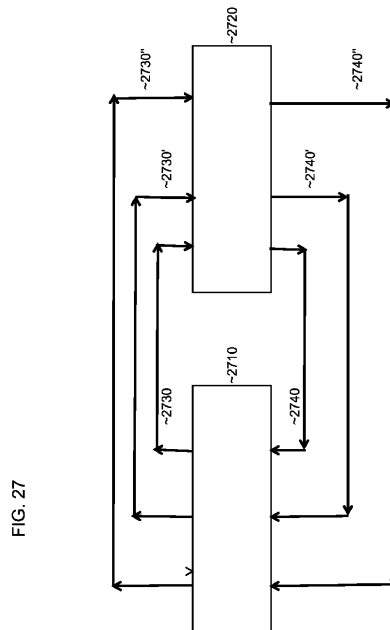


FIG. 27

【図 28】

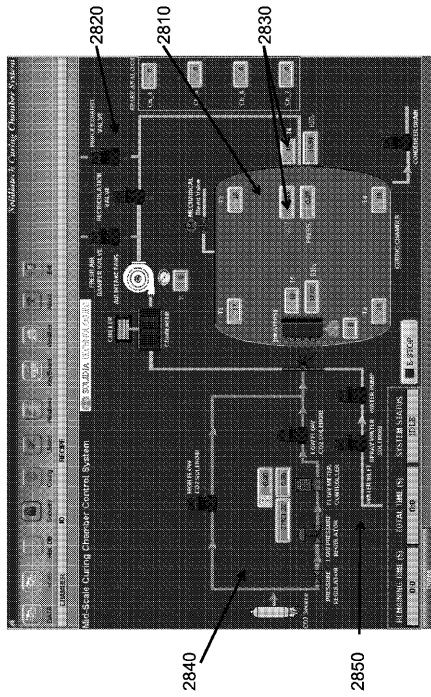


FIG. 28

【図 29】

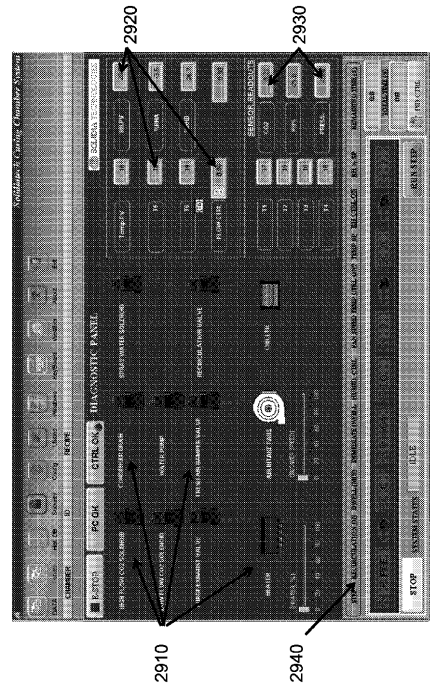


FIG. 29

【図 30】

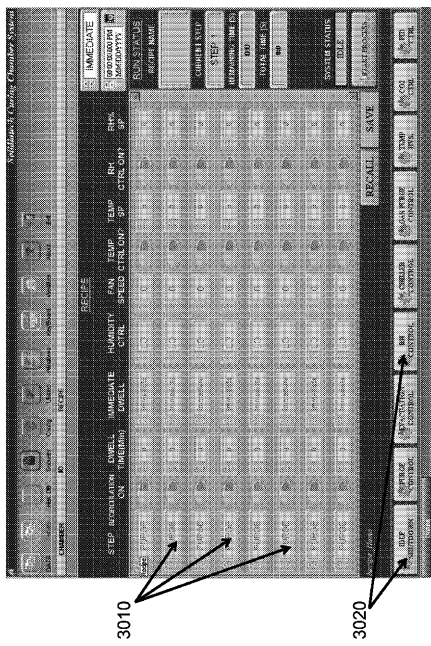


FIG. 30

【図 31】

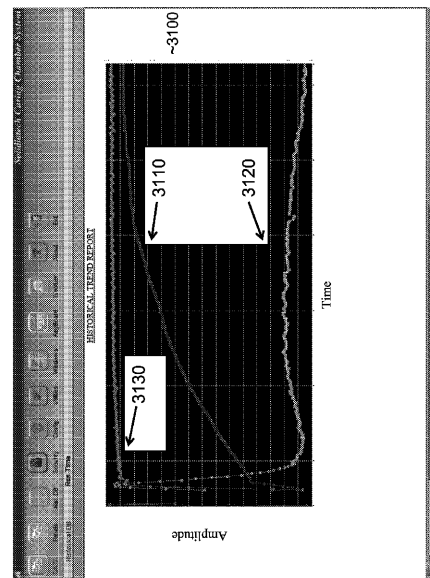


FIG. 31

フロントページの続き

- (72)発明者 デヴィン パテン
アメリカ合衆国 ニュージャージー州 07701 レッド パンク リンカーン ストリート
889
- (72)発明者 ヴァヒット アタカン
アメリカ合衆国 ニュージャージー州 08540 ウェスト ウインザー トリニティ コート
309 アpartment ナンバー11
- (72)発明者 ダニエル カストロ
アメリカ合衆国 ニュージャージー州 07738 リンクロフト マジェスティック アヴェニ
ュー 3
- (72)発明者 ディーバク ラヴィクマール
アメリカ合衆国 ニュージャージー州 08854 ピスカタウェイ カールトン クラブ ドラ
イブ 130
- (72)発明者 ジョン クブラー
アメリカ合衆国 ニュージャージー州 08812 グリーン ブルック セブンス ストリート
208
- (72)発明者 スティーブン ジェンセン
アメリカ合衆国 ニュージャージー州 08879 サウス アンボイ ジョン ストリート 1
16
- (72)発明者 マーク スキャントレブリー
アメリカ合衆国 ニュージャージー州 07018 イースト オレンジ リンゼイ プレイス
29
- (72)発明者 ケネス マイケル スミス
アメリカ合衆国 ニュージャージー州 08873 サマセット ジョーダンズ サークル 16
4
- (72)発明者 ホルヘ モラ
アメリカ合衆国 ニュージャージー州 07202 エリザベス ニューヨーク アヴェニュー
321 アpartment 2アール
- (72)発明者 エマニュエル ロハス
アメリカ合衆国 ニュージャージー州 07060 ノース ブレインフィールド ルート 22
401 アpartment 52イー
- (72)発明者 トム シューラー
アメリカ合衆国 ペンシルベニア州 19350 ランデンバーグ ミドルトン レーン 1
- (72)発明者 アラン ブラックロック
アメリカ合衆国 ニュージャージー州 07066 クラーク ヴァレー ロード 493

審査官 小野 久子

- (56)参考文献 特開平02-137782(JP,A)
特開2006-143531(JP,A)
特開平10-278026(JP,A)
韓国公開特許第10-2011-0011838(KR,A)
中国実用新案第202399385(CN,U)
特開2008-008025(JP,A)
特開平02-018368(JP,A)
特開2003-246688(JP,A)
特表2013-530859(JP,A)
特開平01-125206(JP,A)

(58)調査した分野(Int.Cl. , D B 名)

B 2 8 B 1 1 / 0 0 - 1 9 / 0 0

C 0 4 B 2 / 0 0 - 3 2 / 0 2

C 0 4 B 4 0 / 0 0 - 4 0 / 0 6