

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公開特許公報(A)

(11) 特許出願公開番号

特開2020-75844
(P2020-75844A)

(43) 公開日 令和2年5月21日(2020.5.21)

(51) Int.Cl.		F I		テーマコード (参考)
CO1B 33/22 (2006.01)		CO1B 33/22		4D037
CO2F 1/20 (2006.01)		CO2F 1/20	A	4G073
CO1B 5/00 (2006.01)		CO1B 5/00	Z	
CO2F 5/00 (2006.01)		CO2F 5/00	620C	
		CO2F 5/00	620B	
審査請求 未請求 請求項の数 19 O L (全 17 頁) 最終頁に続く				

(21) 出願番号	特願2018-211756 (P2018-211756)	(71) 出願人	504196300 国立大学法人東京海洋大学 東京都港区港南4丁目5番7号
(22) 出願日	平成30年11月9日 (2018.11.9)	(74) 代理人	100091982 弁理士 永井 浩之
		(74) 代理人	100091487 弁理士 中村 行孝
		(74) 代理人	100082991 弁理士 佐藤 泰和
		(74) 代理人	100105153 弁理士 朝倉 悟
		(74) 代理人	100152205 弁理士 吉田 昌司
		(74) 代理人	100120385 弁理士 鈴木 健之
最終頁に続く			

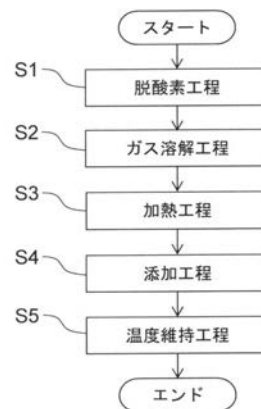
(54) 【発明の名称】 スケール生成方法、スケール生成用水溶液およびスケール生成装置

(57) 【要約】

【課題】 実験室環境においても実地のスケールと同様の構造を有するスケールを生成することができるスケール生成方法、スケール生成用水溶液およびスケール生成装置を提供する。

【解決手段】 容器に収容された水を脱気させることで容器内に脱酸素水を生成する脱酸素工程と、スケールを構成する複数の成分を脱酸素水に添加する添加工程と、スケールを析出させる析出工程と、を備える。

【選択図】 図2



【特許請求の範囲】**【請求項 1】**

容器に収容された水を脱酸素させることで前記容器内に脱酸素水を生成する脱酸素工程と、

スケールを構成する複数の成分を前記脱酸素水に添加する添加工程と、

前記スケールを析出させる析出工程と、

を備えるスケール生成方法。

【請求項 2】

前記脱酸素工程と前記添加工程との間に、前記複数の成分のうち少なくとも 1 つの成分の溶解を促進する溶解促進ガスを前記脱酸素水に溶解させるガス溶解工程を更に備える、請求項 1 に記載のスケール生成方法。

10

【請求項 3】

前記溶解促進ガスは、前記脱酸素水への溶解時に前記脱酸素水の pH を変化させる、請求項 2 に記載のスケール生成方法。

【請求項 4】

前記溶解促進ガスは、二酸化炭素を含む、請求項 2 または請求項 3 に記載のスケール生成方法。

【請求項 5】

前記溶解促進ガスは、硫化水素、フッ化水素、塩化水素、二酸化硫黄、一酸化炭素、水素、窒素、メタンのいずれかを含む、請求項 2 または 3 に記載のスケール生成方法。

20

【請求項 6】

前記ガス溶解工程は、前記溶解促進ガスに標準気圧よりも大きい所定圧力をかけながら行う、請求項 2 ~ 5 のいずれか 1 項に記載のスケール生成方法。

【請求項 7】

前記ガス溶解工程と前記添加工程との間に、前記スケールが析出する所定温度まで前記脱酸素水を加熱する加熱工程を更に備える、請求項 2 ~ 6 のいずれか 1 項に記載のスケール生成方法。

【請求項 8】

前記加熱工程は、前記脱酸素水を加熱前の圧力に維持しながら行う、請求項 7 に記載のスケール生成方法。

30

【請求項 9】

前記添加工程と前記析出工程との間に、前記脱酸素水を前記所定温度に所定時間維持する工程を更に備える、請求項 7 または 8 に記載のスケール生成方法。

【請求項 10】

前記析出工程は、前記脱酸素水を前記スケールが析出する所定温度に維持することで行う、請求項 1 ~ 9 のいずれか 1 項に記載のスケール生成方法。

【請求項 11】

前記析出工程は、前記脱酸素水を曝気させることで行う、請求項 1 ~ 9 のいずれか 1 項に記載のスケール生成方法。

【請求項 12】

前記析出工程は、前記脱酸素水を減圧させることで行う、請求項 1 ~ 9 のいずれか 1 項に記載のスケール生成方法。

40

【請求項 13】

前記析出工程は、前記脱酸素水から前記溶解促進ガスを除去することで行う、請求項 2 ~ 9 のいずれか 1 項に記載のスケール生成方法。

【請求項 14】

前記スケールは、前記容器に連通された管状の試験片に前記容器内の脱酸素水をポンプで流動させることで、前記試験片の内壁に析出される、請求項 1 ~ 13 のいずれか 1 項に記載のスケール生成方法。

【請求項 15】

50

前記添加工程は、前記複数の成分の全てを一度に前記脱酸素水に添加することで行う、請求項 1 ~ 14 のいずれか 1 項に記載のスケール生成方法。

【請求項 16】

前記添加工程は、前記複数の成分のうちの一部の成分を前記脱酸素水に添加し、前記一部の成分の添加後に、前記複数の成分のうちの残りの成分を、曝気された水に溶解した状態で前記脱酸素水に添加することで行う、請求項 1 ~ 14 のいずれか 1 項に記載のスケール生成方法。

【請求項 17】

前記複数の成分は、ケイ酸イオン、炭酸イオン、リン酸イオンまたは硫酸イオンと、金属イオンとを含む、請求項 1 ~ 16 のいずれか 1 項に記載のスケール生成方法。

10

【請求項 18】

水を脱酸素させた脱酸素水と、

前記脱酸素水中に溶解され、スケールを構成する複数の成分の前記脱酸素水への溶解を促進する溶解促進ガスと、を含有するスケール生成用水溶液。

【請求項 19】

容器に収容された水を脱気させることで前記容器内に脱酸素水を生成する脱酸素部と、

スケールを構成する複数の成分を前記脱酸素水に添加する添加部と、

前記スケールを析出させる析出部と、を備えるスケール生成装置。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

20

【0001】

本発明は、スケール生成方法、スケール生成用水溶液およびスケール生成装置に関する

【背景技術】

【0002】

地熱発電においては、地熱水が流れる管路や熱交換器にスケールが発生することで、地熱水の流動や熱交換が阻害されることが問題となる。このようなスケールを抑制するため、従来から、スケール対策に係る種々の研究開発が進められており、例えば、スケールの発生を防止する薬剤に関する技術などが提案されている。

【先行技術文献】

30

【特許文献】

【0003】

【特許文献 1】特開平 6 - 178999 号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0004】

しかしながら、従来は、スケール対策に係る技術評価試験の多くが、実際の地熱流体を用いた実地でのフィールド実験となっていた。これは、実験室環境ではフィールドで観察されるようなスケールの生成が困難であったことによる。

【0005】

40

そこで、本発明は、実験室環境においても実地のスケールと同様の構造を有するスケールを生成することができるスケール生成方法、スケール生成用水溶液およびスケール生成装置を提供することを目的とする。

【課題を解決するための手段】

【0006】

本発明の一態様に係るスケール生成方法は、

容器に収容された水を脱酸素させることで前記容器内に脱酸素水を生成する脱酸素工程と、

スケールを構成する複数の成分を前記脱酸素水に添加する添加工程と、

前記スケールを析出させる析出工程と、

50

を備える。

【0007】

前記スケール生成方法において、

前記脱酸素工程と前記添加工程との間に、前記複数の成分のうち少なくとも1つの成分の溶解を促進する溶解促進ガスを前記脱酸素水に溶解させるガス溶解工程を更に備えてもよい。

【0008】

前記スケール生成方法において、

前記溶解促進ガスは、前記脱酸素水への溶解時に前記脱酸素水のpHを変化させてもよい。

10

【0009】

前記スケール生成方法において、

前記溶解促進ガスは、二酸化炭素を含んでもよい。

【0010】

前記スケール生成方法において、

前記溶解促進ガスは、硫化水素、フッ化水素、塩化水素、二酸化硫黄、一酸化炭素、水素、窒素、メタンなどの溶解性ガスでもよい。

【0011】

前記スケール生成方法において、

前記ガス溶解工程は、前記溶解促進ガスに標準気圧よりも大きい所定圧力をかけながら行ってもよい。

20

【0012】

前記スケール生成方法において、

前記ガス溶解工程と前記添加工程との間に、前記スケールが析出する所定温度まで前記脱酸素水を加熱する加熱工程を更に備えてもよい。

【0013】

前記スケール生成方法において、

前記加熱工程は、前記脱酸素水を加熱前の圧力に維持しながら行ってもよい。

【0014】

前記スケール生成方法において、

前記添加工程と前記析出工程との間に、前記脱酸素水を前記所定温度に所定時間維持する工程を更に備えてもよい。

30

【0015】

前記スケール生成方法において、

前記析出工程は、前記脱酸素水を前記スケールが析出する所定温度に維持することで行ってもよい。

【0016】

前記スケール生成方法において、

前記析出工程は、前記脱酸素水を曝気させることで行ってもよい。

【0017】

前記スケール生成方法において、

前記析出工程は、前記脱酸素水を減圧させることで行ってもよい。

40

【0018】

前記スケール生成方法において、

前記析出工程は、前記脱酸素水から前記溶解促進ガスを除去することで行ってもよい。

【0019】

前記スケール生成方法において、

前記スケールは、前記容器に連通された管状の試験片に前記容器内の脱酸素水をポンプで流動させることで、前記試験片の内壁に析出させてもよい。または、脱酸素水中に試験片を設置することで試験片の表面に析出させてもよい。

50

【0020】

前記スケール生成方法において、
前記添加工程は、前記複数の成分の全てを一度に前記脱酸素水に添加することで行ってもよい。

【0021】

前記スケール生成方法において、
前記添加工程は、前記複数の成分のうち一部の成分を前記脱酸素水に添加し、前記一部の成分の添加後に、前記複数の成分のうち残りの成分を、曝気された水に溶解した状態で前記脱酸素水に添加することで行ってもよい。

【0022】

前記スケール生成方法において、
前記複数の成分は、金属イオンと、ケイ酸イオン、炭酸イオン、リン酸イオン、または硫酸イオンと、を含んでもよい。

10

【0023】

本発明の一態様に係るスケール生成用水溶液は、
水を脱酸素させた脱酸素水と、
前記脱酸素水中に溶解され、スケールを構成する複数の成分の前記脱酸素水への溶解を促進する溶解促進ガスと、を含有する。

【0024】

本発明の一態様に係るスケール生成装置は、
容器に収容された水を脱酸素させることで前記容器内に脱酸素水を生成する脱酸素部と、
スケールを構成する複数の成分を前記脱酸素水に添加する添加部と、
前記スケールを析出させる析出部と、を備える。

20

【発明の効果】

【0025】

本発明によれば、実験室環境においても実地のスケールと同様の構造を有するスケールを生成することができる。

【図面の簡単な説明】

【0026】

【図1】第1の実施形態によるスケール生成方法を実施可能なスケール生成装置の一例を示す図である。

30

【図2】第1の実施形態によるスケール生成方法を示すフローチャートである。

【図3】第1の実施形態によるスケール生成方法で生成されたスケールの模式図である。

【図4】第1の実施形態によるスケール生成方法の実験例において、生成された合成スケールAを示す写真である。

【図5】現地スケールを示す写真である。

【図6】第1の実施形態によるスケール生成方法の実験例において、生成されたスケールのFTIRによる波数4000~1400 cm⁻¹の領域での分析結果を示すグラフである。

40

【図7】第1の実施形態によるスケール生成方法の実験例において、生成されたスケールのFTIRによる波数1400~400 cm⁻¹の領域での分析結果を示すグラフである。

【図8】第2の実施形態によるスケール生成方法を実施可能なスケール生成装置の一例を示す図である。

【図9】第2の実施形態によるスケール生成方法を示すフローチャートである。

【図10】第3の実施形態によるスケール生成方法を示すフローチャートである。

【図11】第3の実施形態によるスケール生成方法の実験例において、生成されたスケールのFTIRによる波数4000~1400 cm⁻¹の領域での分析結果を示すグラフである。

50

【図 1 2】第 3 の実施形態によるスケール生成方法の実験例において、生成されたスケールの FTIR による波数 $1400 \sim 400 \text{ cm}^{-1}$ の領域での分析結果を示すグラフである。

【発明を実施するための形態】

【0027】

以下、図面を参照して本発明の実施形態について説明する。なお、本明細書に添付する図面においては、図面の理解のしやすさの便宜上、適宜縮尺および縦横の寸法比等を、実物のそれらから変更し誇張している場合がある。

【0028】

(第 1 の実施形態)

10

図 1 は、第 1 の実施形態によるスケール生成方法を実施可能なスケール生成装置 1 の一例を示す図である。

【0029】

図 1 に示すように、スケール生成装置 1 は、容器 2 と、脱酸素部 3 と、ガス溶解部 4 と、加熱部 5 と、温度計測部 6 と、圧力計測部 7 と、添加部 8 と、析出部 9 と、水位計測部 10 とを備える。

【0030】

容器 2 は、スケールを構成する複数の成分（以下、スケール成分とも呼ぶ）、二酸化炭素、および水といった、スケールを生成するために用いられる各種の材料が供給され、供給された材料を収容する。後述する二酸化炭素の供給圧力や脱酸素水の加熱にともなう圧力上昇に耐え得るように、容器 2 は、耐圧性を有する。容器 2 は、例えば、オートクレーブで構成される。

20

【0031】

脱酸素部 3 は、容器 2 に収容された水を脱酸素させることで容器 2 内に脱酸素水 W を生成する。脱酸素水 W を生成するための具体的な構成として、脱酸素部 3 は、真空ポンプ 31 と、脱酸素管 32 と、脱酸素弁 33 と、制御部 CNT とを有する。

【0032】

脱酸素管 32 は、容器 2 と真空ポンプ 31 との間に接続されている。脱酸素弁 33 は、脱酸素管 32 上に配置され、脱酸素管 32 を開閉可能である。真空ポンプ 31 は、脱酸素管 32 が開放された状態で脱酸素管 32 を通して容器 2 内に負圧を付与することで、容器 2 内に収容された水を脱酸素させて脱酸素水 W を生成する。制御部 CNT は、真空ポンプ 31 の駆動および脱酸素弁 33 の開度を制御することで脱酸素を制御する。

30

【0033】

ガス溶解部 4 は、脱酸素水 W の生成後に、複数のスケール成分のうち少なくとも 1 つのスケール成分の溶解を促進する溶解促進ガスを脱酸素水 W に溶解させる。すなわち、ガス溶解部 4 は、脱酸素水 W と溶解促進ガスとを含有するスケール生成用水溶液を生成する。溶解促進ガスは、脱酸素水 W への溶解時に脱酸素水 W の pH を変化させることで脱酸素水 W へのスケール成分の溶解を促進する。スケールの生成を阻害しないようにするため、溶解促進ガスは、スケール成分に対して不活性のガスである。より詳しくは、ガス溶解部 4 は、溶解促進ガスの一例である二酸化炭素ガスを脱酸素水 W に溶解させる。なお、ガス溶解部 4 は、二酸化炭素ガスの代わりに硫化水素ガスを脱酸素水 W に溶解させてもよい。

40

【0034】

二酸化炭素ガスを脱酸素水 W に溶解させるための具体的な構成として、ガス溶解部 4 は、二酸化炭素ポンプ 41 と、ガス供給管 42 と、ガス供給弁 43 と、既述した制御部 CNT とを有する。

【0035】

ガス供給管 42 は、容器 2 と二酸化炭素ポンプ 41 との間に接続されている。ガス供給弁 43 は、ガス供給管 42 上に配置され、ガス供給管 42 を開閉可能である。二酸化炭素ポンプ 41 の内部には、標準気圧よりも大きい圧力で圧縮された状態の二酸化炭素ガスが収容されている。二酸化炭素ポンプ 41 は、ガス供給管 42 が開放された状態でガス供給

50

管 4 2 を通して標準気圧よりも大きい供給圧力をかけながら二酸化炭素ガスを脱酸素水 W に供給することで、脱酸素水 W に二酸化炭素ガスを溶解させる。制御部 C N T は、ガス供給弁 4 3 の開度を制御することで二酸化炭素ガスの溶解を制御する。脱酸素水 W への二酸化炭素ガスの供給圧力は、例えば、0.2 MPa である。

【 0 0 3 6 】

加熱部 5 は、脱酸素水 W に二酸化炭素ガスが溶解された後に、予め設定されたスケールが析出する析出温度（所定温度）まで脱酸素水 W を加熱する。より詳しくは、制御部 C N T は、温度計測部 6 に脱酸素水 W の温度を計測させ、計測された温度が析出温度になるまで加熱部 5 に脱酸素水 W を加熱させる。なお、析出温度とは、その温度の下で無条件にスケールが析出する温度ではなく、予め決められた温度以外の条件（例えば、脱酸素水 W の pH や圧力等）が満たされた場合にスケールが析出する上限温度である。析出温度は、例えば、100 である。

10

【 0 0 3 7 】

また、加熱部 5 は、脱酸素水 W を加熱前の圧力に維持しながら脱酸素水 W を析出温度まで加熱する。より詳しくは、制御部 C N T は、圧力計測部 7 に容器 2 内の圧力を計測させ、計測された圧力が加熱前の圧力に維持されるように後述する析出部 9 の曝気弁 9 2（すなわち、減圧弁）の開度を制御する。

【 0 0 3 8 】

添加部 8 は、脱酸素水 W の加熱後に、複数のスケール成分を脱酸素水 W に添加する。より詳しくは、添加部 8 は、複数のスケール成分として、ケイ酸イオン、炭酸イオンまたは硫酸イオンを含有する第 1 スケール成分 C 1 と、金属イオンを含有する第 2 スケール成分 C 2 とを一度に脱酸素水 W に添加する。例えば、第 1 スケール成分 C 1 は、ケイ酸ナトリウム（ Na_2SiO_3 ）であり、第 2 スケール成分 C 2 は、塩化マグネシウム（ MgCl_2 ）である。第 1 スケール成分 C 1 は、硫酸マグネシウム（ MgSO_4 ）であってもよい。

20

【 0 0 3 9 】

第 1 スケール成分 C 1 および第 2 スケール成分 C 2 を脱酸素水 W に添加するための具体的な構成として、添加部 8 は、投入管 8 1 と、上部投入弁 8 2 と、下部投入弁 8 3 と、既述した制御部 C N T とを有する。投入管 8 1 は、下端部が容器 2 に接続されている。上部投入弁 8 2 は、投入管 8 1 の上端部に配置され、投入管 8 1 を開閉可能である。下部投入弁 8 3 は、投入管 8 1 の下端部に配置され、投入管 8 1 を開閉可能である。制御部 C N T は、上部投入弁 8 2 および下部投入弁 8 3 の開度を制御することで、脱酸素水 W への第 1 スケール成分 C 1 および第 2 スケール成分 C 2 の添加を制御する。脱酸素水 W の曝気を防止するため、制御部 C N T は、先ず、下部投入弁 8 3 を閉めて上部投入弁 8 2 を開けることで、投入管 8 1 内への第 1 スケール成分 C 1 および第 2 スケール成分 C 2 の投入を許容する。そして、制御部 C N T は、投入管 8 1 内への第 1 スケール成分 C 1 および第 2 スケール成分 C 2 の投入を、センサの検出信号やユーザの入力信号等によって検知した後に、上部投入弁 8 2 を閉めて下部投入弁 8 3 を開けることで、脱酸素水 W に第 1 スケール成分 C 1 および第 2 スケール成分 C 2 を投入すなわち添加する。

30

【 0 0 4 0 】

加熱部 5 は、第 1 スケール成分 C 1 および第 2 スケール成分 C 2 の添加後に、脱酸素水 W を析出温度に所定時間維持する。より詳しくは、制御部 C N T は、図示しない熱電対を有する温度計測部 6 に脱酸素水 W の温度を計測させ、計測された温度が析出温度に維持されるように、必要に応じて加熱部 5 に脱酸素水 W を再加熱させる。析出温度の維持時間は、例えば、1 時間である。

40

【 0 0 4 1 】

析出部 9 は、第 1 スケール成分 C 1 および第 2 スケール成分 C 2 が添加された脱酸素水 W が析出温度に維持された後、スケールを析出させる。

【 0 0 4 2 】

スケールを析出させるための具体的な構成として、析出部 9 は、曝気管 9 1 と、曝気弁

50

9 2 と、ポンプ 9 3 と、ポンプ上流管 9 4 と、ポンプ下流管 9 5 と、ポンプ上流弁 9 6 と、ポンプ下流弁 9 7 と、試験片 9 8 と、既述した制御部 C N T とを有する。

【 0 0 4 3 】

曝気管 9 1 は、一端に曝気口 9 1 a が設けられ、他端が容器 2 に接続されている。曝気弁 9 2 は、曝気管 9 1 上に配置され、曝気管 9 1 を開閉可能である。曝気管 9 1 は、曝気弁 9 2 によって開放された状態で、曝気口 9 1 a から外部の空気を取り込んで脱酸素水 W を曝気させる。曝気にもなると、容器 2 内の圧力が減少し、脱酸素水 W に溶解していた二酸化炭素ガスが曝気口 9 1 a から排出される。二酸化炭素ガスが排出されることで、脱酸素水 W の p H が変化する。

【 0 0 4 4 】

ポンプ上流管 9 4 は、容器 2 とポンプ 9 3 の吸引口との間に接続されている。ポンプ上流弁 9 6 は、ポンプ上流管 9 4 上に配置され、ポンプ上流管 9 4 を開閉可能である。ポンプ下流管 9 5 は、容器 2 とポンプ 9 3 の排出口との間に接続されている。ポンプ下流弁 9 7 は、ポンプ下流管 9 5 上に配置され、ポンプ下流管 9 5 を開閉可能である。試験片 9 8 は、ポンプ下流管 9 5 上に配置され、ポンプ下流管 9 5 を介して容器 2 に連通している。

【 0 0 4 5 】

ポンプ 9 3 は、ポンプ上流管 9 4 およびポンプ下流管 9 5 が開放された状態で、ポンプ上流管 9 4 およびポンプ下流管 9 5 を通して容器 2 内の脱酸素水 W を循環させる。脱酸素水 W を循環させることで、試験片 9 8 の内部には脱酸素水 W が流動する。試験片 9 8 の内部に脱酸素水 W を流動させながら脱酸素水 W の曝気によって脱酸素水 W の p H を変化（すなわち、上昇）させることで、スケールとなる物質が溶液中で過飽和状態となる条件にし、試験片 9 8 の内壁に、第 1 スケール成分 C 1 と第 2 スケール成分 C 2 との化学反応によって生成されたスケールが析出する。例えば、第 1 スケール成分 C 1 が、ケイ酸ナトリウム (Na_2SiO_3) であり、第 2 スケール成分 C 2 が、塩化マグネシウム (MgCl_2) である場合、スケールとして、 $\text{Tal c} (\text{Mg}_3\text{Si}_4\text{O}_{10}(\text{OH})_2)$ が析出する。

【 0 0 4 6 】

制御部 C N T は、曝気弁 9 2、ポンプ上流弁 9 6 およびポンプ下流弁 9 7 の開度を制御することで、スケールの析出を制御する。例えば、制御部 C N T は、ポンプ上流弁 9 6 およびポンプ下流弁 9 7 を開けることで、既述したようにポンプ上流管 9 4 およびポンプ下流管 9 5 を開放して、ポンプ上流管 9 4 およびポンプ下流管 9 5 を通して容器 2 内の脱酸素水 W を循環させる。

【 0 0 4 7 】

水位計測部 1 0 は、容器 2 内の水の水位を計測する。制御部 C N T は、容器 2 に接続された図示しない供給管から容器 2 内に水を供給する際に、水位計測部 1 0 の計測結果に基づいて水の供給量を調整してもよい。

【 0 0 4 8 】

次に、第 1 の実施形態によるスケール生成方法について説明する。図 2 は、第 1 の実施形態によるスケール生成方法を示すフローチャートである。

【 0 0 4 9 】

第 1 の実施形態のスケール生成方法において、まず、脱酸素部 3 は、脱酸素工程を実施する（ステップ S 1）。脱酸素工程においては、脱酸素弁 3 3 を開け、脱酸素管 3 2 を通して真空ポンプ 3 1 によって容器 2 に収容された水を脱酸素させることで、容器 2 内に脱酸素水 W を生成する。なお、脱酸素工程は、脱気その他、酸素を含まないガスで置換し、オートクレーブ内の酸素分圧を下げることにより水中の酸素を放散させることで行ってもよい。

【 0 0 5 0 】

脱酸素工程が実施された後、ガス溶解部 4 は、ガス溶解工程を実施する（ステップ S 2）。ガス溶解工程においては、ガス供給弁 4 3 を開け、ガス供給管 4 2 を通して二酸化炭素ポンプ 4 1 から脱酸素水 W に二酸化炭素ガスを供給することで、脱酸素水 W に二酸化炭

10

20

30

40

50

素ガスを溶解させる。ガス溶解工程は、二酸化炭素ガスに標準気圧よりも大きい供給圧力をかけながら行う。

【0051】

ガス溶解工程が実施された後、加熱部5は、加熱工程を実施する(ステップS3)。加熱工程においては、既述の析出温度まで脱酸素水Wを加熱する。加熱工程は、脱酸素水Wを加熱前の圧力に維持しながら行う。加熱前の圧力を維持することで、容器2の劣化や破損を抑制することができる。

【0052】

加熱工程が実施された後、添加部8は、添加工程を実施する(ステップS4)。添加工程においては、下部投入弁83を閉めた状態で上部投入弁82を開けて投入管81内に第1スケール成分C1および第2スケール成分C2を投入し、その後、上部投入弁82を閉めた状態で下部投入弁83を開けることで、第1スケール成分C1および第2スケール成分C2を一度に脱酸素水Wに添加する。このとき、ガス溶解工程によって脱酸素水Wに二酸化炭素ガスが溶解しているため、第1スケール成分C1および第2スケール成分C2を脱酸素水Wに容易に溶解させることができる。また、加熱部5によって脱酸素水Wが加熱されているため、第1スケール成分C1および第2スケール成分C2を更に容易に脱酸素水Wに溶解させることができる。

【0053】

添加工程が実施された後、加熱部5は、温度維持工程を実施する(ステップS5)。温度維持工程においては、脱酸素水Wを所定時間析出温度に維持する。脱酸素水Wを析出温度に維持することで、第1スケール成分C1および第2スケール成分C2を更に容易に脱酸素水Wに溶解させることができる。これにより、図3に示すように、試験片98の内壁98aにスケールSが析出する。なお、脱酸素水Wの析出温度への維持は、後述する曝気工程の後も継続してよい。

【0054】

温度維持工程が実施された後、析出部9は、曝気工程を実施してもよい。曝気工程においては、曝気弁92を開け、曝気管91を通して容器2内の脱酸素水Wを曝気させる。脱酸素水Wを曝気させることで、脱酸素水Wに溶解していた二酸化炭素ガスが排出されて脱酸素水WのpHが変化し、スケールの析出を促進することができる。

【0055】

(実験例)

次に、第1の実施形態の実験例について説明する。

【0056】

本実験例では、容器2内に3.5Lの純水を収容し、収容された純水に30分の脱気を行うことで、脱酸素水Wを生成した。

【0057】

脱酸素水Wの生成後、0.2MPaの圧力をかけて二酸化炭素ガスを脱酸素水Wに溶解させた。

【0058】

二酸化炭素ガスを溶解させた後、脱酸素水Wを加熱して100℃まで昇温させた。

【0059】

脱酸素水Wの加熱後、脱酸素水Wに40gのケイ酸ナトリウムと22.89gの塩化マグネシウムとを添加した。

【0060】

ケイ酸ナトリウムおよび塩化マグネシウムの添加後、脱酸素水Wを100℃の状態に1時間維持した。

【0061】

容器2内の水を100℃の状態に18時間保持して、ケイ酸ナトリウムと塩化マグネシウムとの化学反応によって生成されたスケールを析出させた。

【0062】

10

20

30

40

50

本実験例では、このようにして生成された実施例のスケール（以下、合成スケールAと呼ぶ）と、曝気水に溶解させたケイ酸ナトリウムと塩化マグネシウムとの化学反応によって生成され、曝気によって析出された比較例のスケール（以下、合成スケールBと呼ぶ）と、温泉水によって現地で生成されたスケール（以下、現地スケールと呼ぶ）と、に対して、X線回折による成分分析と、FTIR（フーリエ変換赤外分光光度計）による分析を行った。なお、X線回折において、Cu-Kの波長の条件は、1.5418であった。なお、図4は、合成スケールAの写真であり、図5は、現地スケールの写真である。

【0063】

分析結果を図6～図7に示す。図6は、第1の実施形態によるスケール生成方法の実験例において、生成されたスケールのFTIRによる波数4000～1400 cm^{-1} の領域での分析結果を示すグラフである。図7は、第1の実施形態によるスケール生成方法の実験例において、生成されたスケールのFTIRによる波数1400～400 cm^{-1} の領域での分析結果を示すグラフである。

10

【0064】

図6において、波数（横軸）が3680 cm^{-1} のときの透過率（縦軸）は、Mg-OHのスペクトルのピークを示す。3390 cm^{-1} のときの透過率は、OHのスペクトルのピークを示す。1640 cm^{-1} のときの透過率は、OHのスペクトルのピークを示す。図7において、990 cm^{-1} のときの透過率は、Si-O-Siのスペクトルのピークを示す。900 cm^{-1} のときの透過率は、層状ケイ酸塩鉱物（本実施例ではTalc）のスペクトルのピークを示す。650 cm^{-1} のときの透過率は、Si-Oのスペクトルのピークを示す。430 cm^{-1} のときの透過率は、Si-O-Mgのスペクトルのピークを示す。

20

【0065】

図7に示すように、層状ケイ酸塩鉱物のスペクトルのピークを含む1400～400 cm^{-1} において、合成スケールAは、合成スケールBと比べて現地スケールに近いピークの形状を示した。

【0066】

FTIRによる分析結果によれば、第1の実施形態による生成方法で生成された実施例の合成スケールAは、比較例の合成スケールBに比べて現地スケールに近い構造を有することが確認された。

30

【0067】

以上述べたように、第1の実施形態によるスケール生成方法は、容器2に収容された水を脱酸素させることで容器2内に脱酸素水Wを生成する脱酸素工程と、スケールを構成する第1スケール成分C1および第2スケール成分C2を脱酸素水Wに添加する添加工程と、スケールを析出させる析出工程と、を備える。これにより、実験室環境においても実地のスケールと同様の構造を有するスケールを生成することができる。

【0068】

また、第1の実施形態によるスケール生成方法は、脱酸素工程と添加工程との間に、第1スケール成分C1および第2スケール成分C2の溶解を促進する二酸化炭素ガスを脱酸素水Wに溶解させるガス溶解工程を更に備える。これにより、脱酸素水WのpHを調整して脱酸素水Wへの第1スケール成分C1および第2スケール成分C2の溶解を促進することができるので、より適切に実地のスケールと同様の構造を有するスケールを生成することができる。

40

【0069】

また、第1の実施形態によるスケール生成方法は、ガス溶解工程を、二酸化炭素ガスに標準気圧よりも大きい供給圧力をかけながら行う。これにより、二酸化炭素ガスを脱酸素水Wに容易に溶解させることができるので、より適切に実地のスケールと同様の構造を有するスケールを生成することができる。

【0070】

また、第1の実施形態によるスケール生成方法は、ガス溶解工程と添加工程との間に、

50

スケールが析出する析出温度まで脱酸素水Wを加熱する加熱工程を更に備える。これにより、第1スケール成分C1および第2スケール成分C2を更に容易に脱酸素水Wに溶解させることができるので、より適切に実地のスケールと同様の構造を有するスケールを生成することができる。

【0071】

また、第1の実施形態によるスケール生成方法は、加熱工程を、脱酸素水Wを加熱前の圧力に維持しながら行ってもよい。これにより、加熱にともなう圧力上昇による容器2の劣化や破損を抑制することができる。

【0072】

また、第1の実施形態によるスケール生成方法は、添加工程と析出工程との間に、脱酸素水Wを析出温度に所定時間維持する温度維持工程を更に備える。これにより、第1スケール成分C1および第2スケール成分C2を更に容易に脱酸素水Wに溶解させることができるので、より適切に実地のスケールと同様の構造を有するスケールを生成することができる。

10

【0073】

また、第1の実施形態によるスケール生成方法は、容器2に連通された管状の試験片98に容器2内の脱酸素水Wをポンプ93で流動させることで、試験片98の内壁98aにスケールを析出させる。これにより、所望の位置(すなわち、試験片98)にスケールを生成することができる。

【0074】

また、第1の実施形態によるスケール生成方法は、析出工程を、脱酸素水Wを曝気させることで行ってもよい。これにより、脱酸素水Wの曝気による二酸化炭素ガスの排出にともなって脱酸素水WのpHを変化させることで、スケールを簡便に析出させることができる。

20

【0075】

(第2の実施形態)

次に、第1スケール成分C1と第2スケール成分C2とを別々に添加する第2の実施形態について、第1の実施形態との相違点を中心に説明する。図8は、第2の実施形態によるスケール生成方法を実施可能なスケール生成装置1の一例を示す図である。

【0076】

第1の実施形態においては、第1スケール成分C1と第2スケール成分C2とを脱酸素水Wに一度に添加していた。これに対して、第2の実施形態では、第1スケール成分C1と第2スケール成分C2とを別々に添加する。

30

【0077】

具体的には、第2の実施形態における添加部84は、図1の構成に加えて、更に、第2スケール成分添加部84と、第2スケール成分供給管85とを備える。第2の実施形態における投入管81は、第1スケール成分C1の添加に用いられ、第2スケール成分C2の添加には用いられない。第2スケール成分供給管85は、第2スケール成分添加部84とポンプ上流管94との間に接続されている。なお、第2スケール成分供給管85の接続位置は、図8のようなポンプ上流管94に限定されず、例えば、容器2やポンプ下流管95などの他の流路であってもよい。第2スケール成分添加部84は、第2スケール成分供給管85を通して脱酸素水Wに第2スケール成分を添加する。第2スケール成分添加部84は、例えば、第2スケール成分を含有する曝気水を給水するポンプなどで構成してもよい。

40

【0078】

図9は、第2の実施形態によるスケール生成方法を示すフローチャートである。なお、第2の実施形態において、ステップS1～ステップS3までの工程は第1の実施形態と同じである。第2の実施形態のスケール生成方法においては、加熱工程を実施した後に、第1スケール成分添加工程を実施する(ステップS41)。第1スケール成分添加工程では、投入管81を通して第1スケール成分C1のみを脱酸素水Wに添加する。

【0079】

50

また、第2の実施形態のスケール生成方法においては、温度維持工程を実施した後に、第2スケール成分添加工程を実施する（ステップS7）。第2スケール成分添加工程では、第2スケール成分添加部84により、第2スケール成分C2を曝気された水に溶解した状態で脱酸素水Wに添加する。

【0080】

以上述べたように、第2の実施形態によるスケール生成方法では、第1スケール成分C1を脱酸素水Wに添加し、その後、第2スケール成分C2を曝気された水に溶解した状態で脱酸素水Wに添加する。これにより、微細なスケール粒子を継続的に生成できるため、添加場所を制御することで任意の場所でスケールを生成させ、特定の場所でのスケール生成効率を向上させることができる。

10

【0081】

（第3の実施形態）

次に、脱酸素工程をガス溶解工程と同時に行いスケールを析出させる第3の実施形態について、第1の実施形態との相違点を中心に説明する。

【0082】

図10は、第3の実施形態によるスケール生成方法を示すフローチャートである。第1の実施形態では、脱酸素工程を実施し、脱酸素水Wにスケール成分を添加することでスケールを析出させていた。これに対して、第3の実施形態では、脱酸素工程をガス溶解工程と同時に行いスケールを析出させる。

20

【0083】

（実験例）

次に、第3の実施形態の実験例について説明する。

【0084】

本実験例では、容器2内に3.5Lの純水を収容し、収容された純水に0.2MPaの圧力をかけて二酸化炭素ガスを純水に溶解させた。その際、二酸化炭素ガスで置換することで酸素分圧を下げ、水中の酸素を放散させることにより脱酸素させた。

【0085】

二酸化炭素ガスを溶解させた後、脱酸素水を加熱して100℃まで昇温させた。

【0086】

脱酸素水の加熱後、脱酸素水にケイ酸ナトリウムと塩化マグネシウムとを添加した。

30

【0087】

ケイ酸ナトリウムおよび塩化マグネシウムの添加後、脱酸素水を100℃の状態に19時間維持してスケールを析出させた。

【0088】

本実験例では、このようにして生成された実施例のスケール（以下、合成スケールCと呼ぶ）と、既述した合成スケールA、Bおよび現地スケールと、脱気で得られた脱酸素水Wに溶解させたケイ酸ナトリウムと塩化マグネシウムとの化学反応によって生成され、曝気して析出させた比較例のスケール（以下、合成スケールDと呼ぶ）と、曝気水に溶解させたケイ酸ナトリウムと塩化マグネシウムとの化学反応によって生成され、曝気して析出させた比較例のスケール（以下、合成スケールEと呼ぶ）に対して、FTIRによる分析を行った。

40

【0089】

分析結果を図11および図12に示す。図11は、第3の実施形態によるスケール生成方法の実験例において、生成されたスケールのFTIRによる波数4000~1400 cm^{-1} の領域での分析結果を示すグラフである。図12は、第3の実施形態によるスケール生成方法の実験例において、生成されたスケールのFTIRによる波数1400~400 cm^{-1} の領域での分析結果を示すグラフである。

【0090】

図6と同様に、図11において、波数（横軸）が3680 cm^{-1} のときの透過率（縦軸）は、Mg-OHのスペクトルのピークを示す。3390 cm^{-1} のときの透過率は、

50

OHのスペクトルのピークを示す。1640 cm⁻¹のときの透過率は、OHのスペクトルのピークを示す。図7と同様に、図12において、990 cm⁻¹のときの透過率は、Si-O-Siのスペクトルのピークを示す。900 cm⁻¹のときの透過率は、層状ケイ酸塩鉱物（すなわち、Talc）のスペクトルのピークを示す。650 cm⁻¹のときの透過率は、Si-Oのスペクトルのピークを示す。430 cm⁻¹のときの透過率は、Si-O-Mgのスペクトルのピークを示す。

【0091】

図12に示すように、900 cm⁻¹付近において、合成スケールAの透過率は、現地スケールの透過率と同様に、滑らかな増加特性を示した。これに対して、900 cm⁻¹付近において、合成スケールCの透過率は増加率が一時的に減少する特性を示した。この結果によれば、第1の実施形態による生成方法で生成された合成スケールAの方が、第3の実施形態による生成方法で生成された合成スケールCに比べてより現地スケールに近い構造を有することが確認された。

10

【0092】

以上述べたように、第3の実施形態によるスケールの生成方法によれば、ガス溶解工程において脱酸素工程を同時に行う。これにより、工程数を削減しつつ実験室環境においてより実地のスケールに近い構造を有するスケールを生成することができる。

【0093】

上述した実施形態は、あくまで一例であって、発明の範囲を限定するものではない。発明の要旨を逸脱しない限度において、上述した実施形態に対して種々の変更を行うことができる。変更された実施形態は、特許請求の範囲に記載された発明とその均等の範囲に含まれるものである。

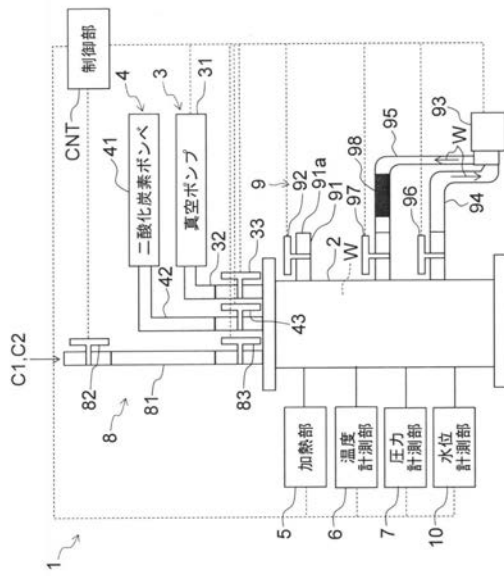
20

【符号の説明】

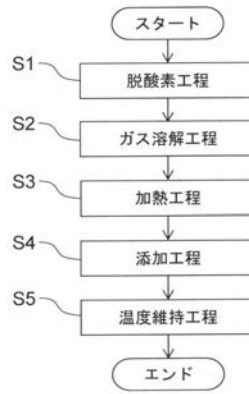
【0094】

- 1 スケール生成装置
- 2 容器
- 3 脱酸素部
- 8 添加部
- 9 析出部

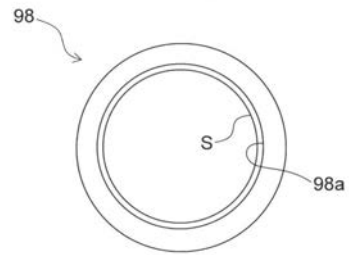
【 図 1 】



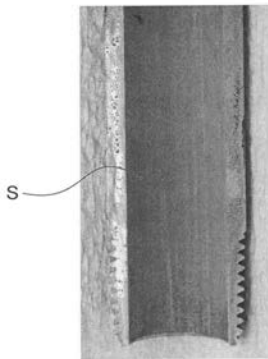
【 図 2 】



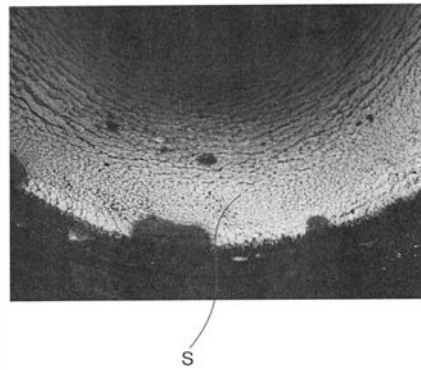
【 図 3 】



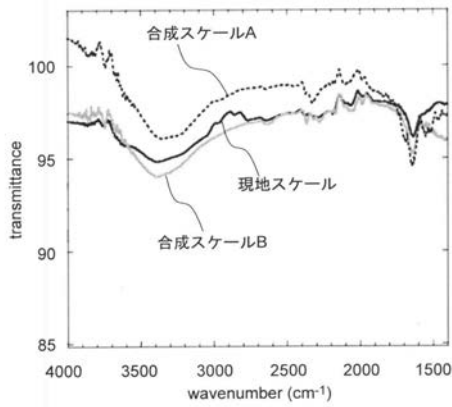
【 図 4 】



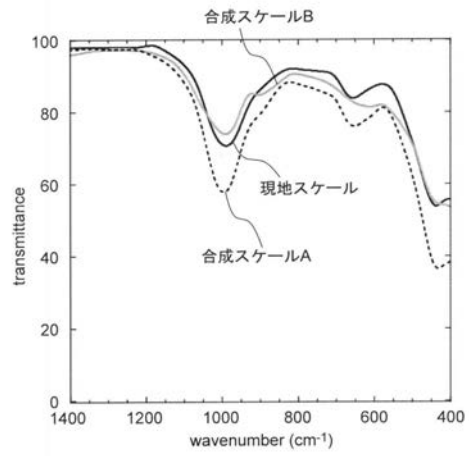
【 図 5 】



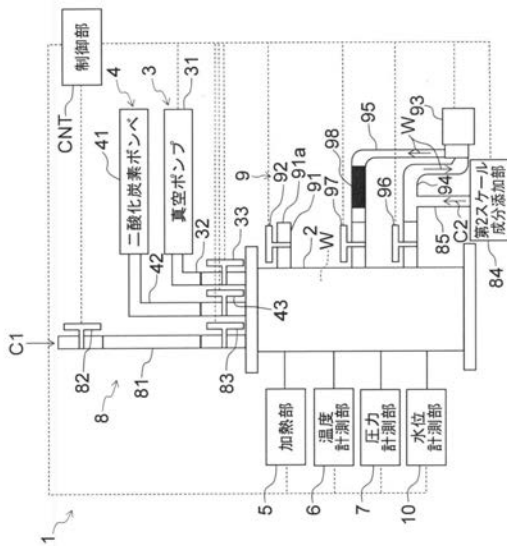
【 図 6 】



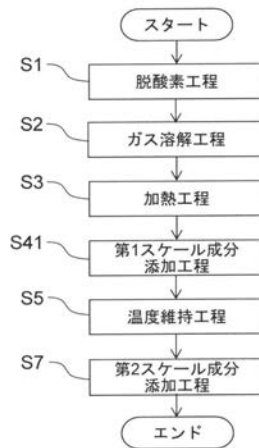
【 図 7 】



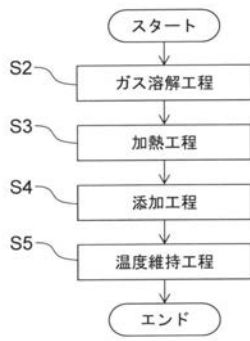
【 図 8 】



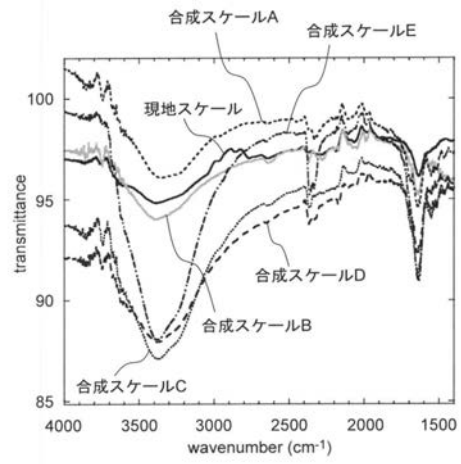
【 図 9 】



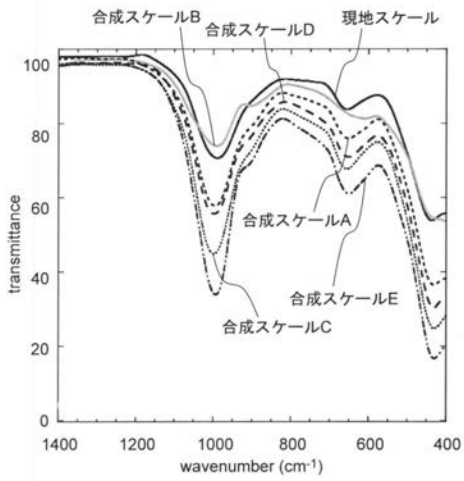
【図 1 0】



【図 1 1】



【図 1 2】



フロントページの続き

(51)Int.Cl. F I テーマコード(参考)
C 0 2 F 5/00 6 2 0 D

(72)発明者 盛田 元彰
東京都江東区越中島 2 - 1 - 6 国立大学法人東京海洋大学内

(72)発明者 山口 歩
東京都江東区越中島 2 - 1 - 6 国立大学法人東京海洋大学内

Fターム(参考) 4D037 AA01 AB11 BA23 BB07
4G073 BA04 BA10 BA62 BA63 BA75 BA80 BA81 CB03 CC03 GB07
UB60