

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第6694632号
(P6694632)

(45) 発行日 令和2年5月20日(2020.5.20)

(24) 登録日 令和2年4月22日(2020.4.22)

(51) Int. Cl.	F 1
E 2 1 B 43/00 (2006.01)	E 2 1 B 43/00 B
F 2 4 T 10/00 (2018.01)	F 2 4 T 10/00
C O 2 F 5/00 (2006.01)	C O 2 F 5/00 6 2 O B
C O 2 F 5/02 (2006.01)	C O 2 F 5/00 6 1 O E
	C O 2 F 5/02 Z
	請求項の数 9 (全 9 頁) 最終頁に続く

(21) 出願番号	特願2016-126858 (P2016-126858)	(73) 特許権者	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28年6月27日(2016.6.27)	(74) 代理人	100091982 弁理士 永井 浩之
(65) 公開番号	特開2018-3275 (P2018-3275A)	(74) 代理人	100091487 弁理士 中村 行孝
(43) 公開日	平成30年1月11日(2018.1.11)	(74) 代理人	100082991 弁理士 佐藤 泰和
審査請求日	令和1年6月21日(2019.6.21)	(74) 代理人	100105153 弁理士 朝倉 悟
		(74) 代理人	100152205 弁理士 吉田 昌司
			最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 地熱利用システム

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

地熱流体取出管の流出口から流出した地熱流体を地熱水と地熱蒸気に分離するとともに、前記地熱蒸気の二酸化炭素分圧を脱気抑制分圧値以上に維持する気水分離槽と、前記気水分離槽から逆流防止弁を流れて流れ込んだ地熱水を曝気して、前記地熱水中の二酸化炭素を脱気する曝気槽と、
を備えることを特徴とする地熱利用システム。

【請求項 2】

前記曝気槽に貯留された地熱水を外部設備に輸送する熱水輸送管をさらに備え、前記熱水輸送管内を流動する前記地熱水の温度は、シリコン酸化物が析出しない温度以上に維持されることを特徴とする請求項 1 に記載の地熱利用システム。

【請求項 3】

前記気水分離槽から排気される地熱蒸気の逆流を阻止し、前記気水分離槽の地熱蒸気の二酸化炭素分圧を一定値に保つ逆流防止弁をさらに備えることを特徴とする請求項 1 または 2 に記載の地熱利用システム。

【請求項 4】

前記逆流防止弁が設けられ、前記気水分離槽の地熱蒸気を排気する蒸気排気管をさらに備えることを特徴とする請求項 3 に記載の地熱利用システム。

【請求項 5】

前記地熱流体取出管の前記流出口は、前記気水分離槽の気相中に配置されていることを

特徴とする請求項 1 ~ 4 のいずれかに記載の地熱利用システム。

【請求項 6】

前記地熱流体取出管の前記流出口には、前記地熱流体の圧力が急減することを防止する急減圧防止手段が設けられていることを特徴とする請求項 5 に記載の地熱利用システム。

【請求項 7】

前記地熱流体取出管の前記流出口は、前記気水分離槽の液相中に配置されていることを特徴とする請求項 1 ~ 4 のいずれかに記載の地熱利用システム。

【請求項 8】

前記気水分離槽と前記曝気槽は、前記逆流防止弁が設けられた接続管を介して互いの液相を繋ぐように接続されていることを特徴とする請求項 1 ~ 7 のいずれかに記載の地熱利用システム。

10

【請求項 9】

前記曝気槽では、前記地熱水中に溶解しているカルシウムイオンを不溶性の炭酸カルシウムとして析出させるとともに、前記地熱水中に溶解しているマグネシウムイオンを不溶性のケイ酸マグネシウムとして析出させることを特徴とする請求項 1 ~ 8 のいずれかに記載の地熱利用システム。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、地熱利用システム、より詳しくは、源泉から取り出された地熱流体を利用するシステムに関する。

20

【背景技術】

【0002】

従来、地中の源泉（生産井）から、地熱蒸気および地熱水を含む地熱流体を取り出し、地熱蒸気を発電等に利用する地熱利用システムが知られている（特許文献 1 参照）。また、地熱水を用いて低沸点媒体を加熱・蒸発させ、その蒸気でタービンを回すバイナリー発電を行う地熱利用システムも知られている。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0003】

30

【特許文献 1】特開 2013 - 180912 号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0004】

地熱利用システムでは、源泉から地熱流体を取り出す配管、地熱水を熱交換器等の外部設備に輸送する配管、および外部設備（以下、まとめて「配管等」ともいう。）の内壁にスケールが付着する。スケールとは、流体中に含まれる無機塩類が内壁に析出したもので、非常に硬く、水に溶けにくい性質を持つ。従来、地熱水のスケールとして、炭酸カルシウムやシリカが知られていたが、本発明者の研究により、ケイ酸マグネシウムもスケール成分に含まれることが明らかとなった。

40

【0005】

スケールが成長するに伴って配管や外部設備内の流路が狭くなるため、メンテナンスを行ってスケールを除去する必要がある。スケールの除去は、スケールを薬剤で溶かしたり、削り取ったり、叩き割る等の方法により行われる。いずれの方法を採るにせよ、メンテナンス中は配管等に流体を流すことができない。このため、例えば地熱流体を利用して発電を行う場合、メンテナンス期間中は運転を停止しなければならない。したがって、スケールの析出をできるだけ抑制することが求められている。

【0006】

そこで、本発明は、地熱流体が流れる配管や外部設備内にスケールが析出することを抑制し、配管等のメンテナンス周期を延ばすことが可能な地熱利用システムを提供すること

50

を目的とする。

【課題を解決するための手段】

【0007】

本発明に係る地熱利用システムは、
地熱流体取出管の流出口から流出した地熱流体を地熱水と地熱蒸気に分離するとともに、前記地熱蒸気の二酸化炭素分圧を脱気抑制分圧値以上に維持する気水分離槽と、前記気水分離槽から逆流防止弁を通過して流れ込んだ地熱水を曝気して、前記地熱水中の二酸化炭素を脱気する曝気槽と、
を備えることを特徴とする。

【0008】

また、前記地熱利用システムにおいて、
前記曝気槽に貯留された地熱水を外部設備に輸送する熱水輸送管をさらに備え、前記熱水輸送管内を流動する前記地熱水の温度は、シリコン酸化物が析出しない温度以上に維持されるようにしてもよい。

【0009】

また、前記地熱利用システムにおいて、
前記気水分離槽から排気される地熱蒸気の逆流を阻止し、前記気水分離槽の地熱蒸気の二酸化炭素分圧を一定値に保つ逆流防止弁をさらに備えてもよい。

【0010】

また、前記地熱利用システムにおいて、
前記逆流防止弁が設けられ、前記気水分離槽の地熱蒸気を排気する蒸気排気管をさらに備えてもよい。

【0011】

また、前記地熱利用システムにおいて、
前記地熱流体取出管の前記流出口は、前記気水分離槽の気相中に配置されていてもよい。

【0012】

また、前記地熱利用システムにおいて、
前記地熱流体取出管の前記流出口には、前記地熱流体の圧力が急減することを防止する急減圧防止手段が設けられてもよい。

【0013】

また、前記地熱利用システムにおいて、
前記地熱流体取出管の前記流出口は、前記気水分離槽の液相中に配置されていてもよい。

【0014】

また、前記地熱利用システムにおいて、
前記気水分離槽と前記曝気槽は、前記逆流防止弁が設けられた接続管を介して互いの液相を繋ぐように接続されていてもよい。

【0015】

また、前記地熱利用システムにおいて、
前記曝気槽では、前記地熱水中に溶解しているカルシウムイオンを不溶性の炭酸カルシウムとして析出させるとともに、前記地熱水中に溶解しているマグネシウムイオンを不溶性のケイ酸マグネシウムとして析出させてもよい。

【発明の効果】

【0016】

本発明では、気水分離槽では、地熱蒸気の二酸化炭素分圧を脱気抑制分圧値以上に維持することで、地熱水を酸性とし、炭酸カルシウムやケイ酸マグネシウムの析出を抑制する。これにより、地熱流体取出管にスケールが付着することを抑制できる。一方、曝気槽では、地熱水を曝気して二酸化炭素を脱気することで、地熱水をアルカリ性とし、炭酸カルシウムおよびケイ酸マグネシウムを強制的に析出させる。そして、熱水輸送管を介して地

10

20

30

40

50

熱水を熱交換器等の外部設備に供給する。これにより、熱水輸送管や熱交換器等の外部設備内で炭酸カルシウムおよびケイ酸マグネシウムのスケールが析出することを抑制できる。

【0017】

よって、本発明によれば、地熱流体が流れる配管や熱交換器等の外部設備内にスケールが析出することを抑制し、配管等のメンテナンス周期を大幅に延ばすことができる。

【図面の簡単な説明】

【0018】

【図1】本発明の実施形態に係る地熱利用システム1の概略的構成図である。

【図2】CO₂溶解度と二酸化炭素分圧(p_{CO₂})の関係を示すグラフである。

10

【図3】(a)は炭酸カルシウムの温度-pH相関図であり、(b)はシリカ(SiO₂)の温度-pH相関図である。

【図4】(a)および(b)はいずれも、ケイ酸マグネシウム(MgSiO₃・H₂O)の温度-pH相関図である。

【発明を実施するための形態】

【0019】

以下、本発明の実施形態に係る地熱利用システムについて図面を参照しながら説明する。

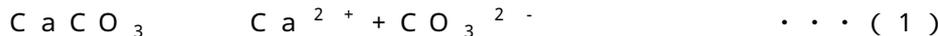
【0020】

まず、地熱利用システムについて説明する前に、各種スケール(炭酸カルシウム、シリカおよびケイ酸マグネシウム)の析出条件について、図3(a)、図3(b)、図4(a)および図4(b)を参照して説明する。なお、図3(a)、図3(b)、図4(a)および図4(b)は、長崎県雲仙市の小浜温泉の温泉水の成分を用いて導出した結果であるが、以下に説明する傾向ないし特性は他の温泉水でも同様である。

20

【0021】

炭酸カルシウムの析出反応は、化学式(1)に示す通りである。



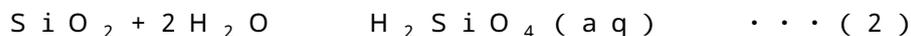
【0022】

図3(a)は、炭酸カルシウムの温度とpHの関係を、飽和指数(SI: Saturation Index)をパラメータとして示したグラフの一例である。図3(a)から分かるように、pHが低下するにつれて炭酸カルシウムの析出は抑制される。

30

【0023】

シリカの析出反応は、化学式(2)、(3)に示す通りである。



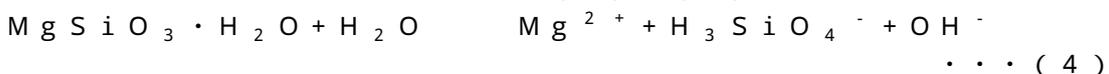
【0024】

図3(b)は、シリカ(SiO₂)の温度とpHの関係を、飽和指数をパラメータとして示したグラフの一例である。図3(b)から分かるように、地熱水の温度がある程度高い領域(例えば64以上)では、pHの値に関わらず、シリカの析出が抑制される。

40

【0025】

ケイ酸マグネシウムの析出反応は、化学式(4)、(5)に示す通りである。



【0026】

図4(a)は、ケイ酸マグネシウム(MgSiO₃・H₂O)の温度とpHの関係を、飽和指数をパラメータとして示したグラフの一例である。図4(b)は、ケイ酸マグネシウム(Mg₃Si₂O₅(OH)₄)の温度とpHの関係を、飽和指数をパラメータとして示したグラフの一例である。図4(a)および図4(b)から分かるように、pHが低

50

下するにつれてケイ酸マグネシウムの析出が抑制される。特に、 $Mg_3Si_2O_5(OH)_4$ は、図4(b)に示すように、pHに対して敏感である。

【0027】

次に、本実施形態に係る地熱利用システム1について説明する。

【0028】

図1に示すように、地熱利用システム1は、気水分離槽2と、曝気槽3と、地熱流体取出管11と、熱水輸送管12と、接続管13と、蒸気排気管14とを備えている。

【0029】

地熱流体取出管11は、源泉(生産井)から地熱流体を取り出し、流出口11aから流出させる。この地熱流体は、地熱水および地熱蒸気から構成される。地熱水は、カルシウムイオン(Ca^{2+})、マグネシウムイオン(Mg^{2+})および炭酸水素イオン(HCO_3^-)を含み、地熱蒸気は二酸化炭素(CO_2)を含む。

10

【0030】

本実施形態では、地熱流体取出管11は、図1に示すように、流出口11aが気水分離槽2の気相中に配置されている。これにより、蒸気排気管14を介して地熱蒸気を効率的に外部に取り出すことができる。取り出された地熱蒸気は蒸気タービン等に送られる。

【0031】

熱水輸送管12は、曝気槽3に貯留された地熱水を外部設備に輸送する。外部設備には、バイナリー発電の熱交換器や、調理器具、温泉などがある。

【0032】

20

接続管13は、図1に示すように、気水分離槽2と曝気槽3を接続する配管である。より詳しくは、気水分離槽2と曝気槽3は、接続管13を介して互いの液相を繋ぐように接続されている。また、接続管13には逆流防止弁21が設けられている。この逆流防止弁21は、曝気槽3から気水分離槽2への地熱水の逆流を阻止するための逆止弁である。逆流防止弁21により、気水分離槽2の地熱水中の二酸化炭素濃度が減少することを防ぐことができる。

【0033】

次に、気水分離槽2について詳しく説明する。

【0034】

気水分離槽2は、地熱流体取出管11の流出口11aから流出した地熱流体を地熱水と地熱蒸気に分離する。地熱水は気水分離槽2内に貯留され、地熱蒸気は蒸気排気管14を通過して蒸気タービン等の外部装置に導かれる。

30

【0035】

気水分離槽2は、地熱蒸気の二酸化炭素分圧(p_{CO_2})を脱気抑制分圧値以上に維持する。地熱蒸気の二酸化炭素分圧が脱気抑制分圧値以上に維持されることで、気水分離槽2の地熱水から二酸化炭素が脱気することを抑制できる。二酸化炭素の脱気を抑制することで、気水分離槽2内の地熱水のpHが低下する。

【0036】

なお、脱気抑制分圧値は、 CO_2 溶解度と CO_2 分圧の関係を示すグラフ(図2参照)を用いて、地熱水中の炭酸水素イオン濃度(HCO_3^- 濃度)の実測値から求めることが可能である。例えば、地熱水中の炭酸水素イオン濃度が $2.7 \times 10^{-3} \text{ mol/L}$ の場合、脱気抑制分圧値は、図2のグラフを用いて、約 $0.2 \sim 0.25 \text{ atm}$ と求まる。

40

【0037】

上記のように気水分離槽2内の地熱蒸気の二酸化炭素分圧を脱気抑制分圧値以上に維持して、気水分離槽2において二酸化炭素の脱気を抑制することで、地熱水のpHが酸性になる(例えば、 $pH = 4.5 \sim 6.5$)。これにより、図3(a)、図4(a)および図4(b)から分かるように、炭酸カルシウムおよびケイ酸マグネシウムの析出が抑制される。その結果、これらの物質からなるスケールが地熱流体取出管11の内部や流出口11aに付着することを抑制できる。なお、地熱流体取出管11および気水分離槽2では地熱水が高温であるため、シリカの析出は抑制される。

50

【 0 0 3 8 】

図 1 に示すように、本実施形態では、二酸化炭素分圧を一定に保つため、逆流防止弁 2 2 が設けられている。この逆流防止弁 2 2 は、気水分離槽 2 から排気される地熱蒸気の逆流を阻止し、気水分離槽 2 の地熱蒸気の二酸化炭素分圧を一定値に保つように構成されている。本実施形態では、逆流防止弁 2 2 は、気水分離槽 2 の地熱蒸気を排気する蒸気排気管 1 4 に設けられている。なお、逆流防止弁 2 2 は、蒸気排気管 1 4 に限らず、気水分離槽 2 の気相部分（天面、側面上部等）に設けられてもよい。

【 0 0 3 9 】

次に、曝気槽 3 について詳しく説明する。

【 0 0 4 0 】

曝気槽 3 は、気水分離槽 2 から逆流防止弁 2 1 を通って流れ込んだ地熱水を曝気して、地熱水中の二酸化炭素を脱気する。これにより、地熱水中に溶解しているカルシウムイオンおよびマグネシウムイオンをスケールとして強制的に析出させる。すなわち、曝気槽 3 は、地熱水中に溶解しているカルシウムイオンを不溶性の炭酸カルシウムとして析出させるとともに、地熱水中に溶解しているマグネシウムイオンを不溶性のケイ酸マグネシウムとして析出させる。その結果、地熱水中のスケール成分が低減する。

【 0 0 4 1 】

より詳しくは、曝気槽 3 において、気水分離槽 2 から流れ込んだ地熱水中の二酸化炭素の脱気を行うことで、曝気槽 3 の地熱水はアルカリ性（例えば、 $\text{pH} = 8 \sim 9$ ）となる。これにより、図 3（a）、図 4（a）および図 4（b）から分かるように、炭酸カルシウムおよびケイ酸マグネシウムの析出反応が促進される。なお、シリカについては、地熱水がアルカリ性のため、図 3（b）から分かるように、析出反応が抑制される。

【 0 0 4 2 】

曝気槽 3 の地熱水は、熱水輸送管 1 2 を通ってバイナリー発電の熱交換器等の外部設備に輸送される。曝気槽 3 において炭酸カルシウムやケイ酸マグネシウムが既に析出しているため、炭酸カルシウムやケイ酸マグネシウムのスケールが熱水輸送管 1 2 や外部設備に析出することが抑制される。

【 0 0 4 3 】

なお、熱水輸送管 1 2 内におけるシリカの析出も抑制するために、熱水輸送管 1 2 内を流動する地熱水の温度を所定の温度とすることが好ましい。すなわち、熱水輸送管 1 2 内を流動する地熱水の温度は、シリコン酸化物（ SiO_2 ）が析出しない温度以上（例えば 64 以上）に維持されることが好ましい。例えば、熱水輸送管 1 2 の外周を断熱材で被覆することで、熱水輸送管 1 2 内の地熱水の温度をシリコン酸化物が析出しない程度の温度に保つ。温度は、例えば、70 ~ 100 に保つ。これにより、シリカについても熱水輸送管 1 2 内に析出することを抑制できる。

【 0 0 4 4 】

上記のように、本実施形態に係る地熱利用システム 1 では、気水分離槽 2 では、地熱蒸気の二酸化炭素分圧を脱気抑制分圧値以上に維持することで、地熱水を酸性とし、炭酸カルシウムやケイ酸マグネシウムの析出を抑制する。地熱水が高温であるため、シリカの析出も抑制される。これにより、地熱流体取出管 1 1 にスケールが付着することを抑制できる。曝気槽 3 では、地熱水を曝気して二酸化炭素を脱気することで、地熱水をアルカリ性とし、炭酸カルシウムおよびケイ酸マグネシウムを強制的に析出させる。地熱水がアルカリ性であるため、シリカの析出も抑制される。そして、熱水輸送管 1 2 を介して地熱水を熱交換器等の外部設備に供給する。これにより、熱水輸送管 1 2 内及び外部設備で炭酸カルシウムおよびケイ酸マグネシウムのスケールが析出することを抑制できる。さらに、熱水輸送管 1 2 内の地熱水の温度をシリコン酸化物が析出しない程度の温度に保つことで、熱水輸送管 1 2 内にシリカが析出することも抑制できる。

【 0 0 4 5 】

以上説明したように、本実施形態の地熱利用システムによれば、地熱流体が流れる配管や熱交換器等の外部設備にスケールが析出することを抑制し、配管等のメンテナンス周期

10

20

30

40

50

を大幅に延ばすことができる。例えば、従来２ヶ月周期で行っていた配管メンテナンスを１年周期にすることができる。

【 0 0 4 6 】

なお、本発明に係る地熱利用システムは上記の実施形態に限られない。例えば、地熱流体取出管 1 1 の流出口 1 1 a は、気水分離槽 2 の液相中に配置されてもよい。これにより、気水分離槽 2 に貯留された地熱水中の二酸化炭素濃度が高くなるため、炭酸カルシウムの析出をさらに抑制できる。

【 0 0 4 7 】

また、地熱流体取出管 1 1 の流出口 1 1 a には、地熱流体の圧力が急減することを防止する急減圧防止手段 2 5 が設けられていてもよい。これにより、地熱流体が地熱流体取出管 1 1 から流出する際の急な減圧が防止され、流出口 1 1 a に炭酸カルシウム等のスケールが析出することを抑制できる。急減圧防止手段 2 5 として、例えば、流出口 1 1 a を覆うように設けられた網状部材や、流出口 1 1 a の口径を絞るための絞り部材などが挙げられる。

10

【 0 0 4 8 】

また、上記の実施形態では気水分離槽 2 と曝気槽 3 とが接続管 1 3 で接続されていたが、接続管 1 3 を用いずに、気水分離槽 2 と曝気槽 3 とが直接隣接配置されてもよい。この場合、逆流防止弁 2 1 は、気水分離槽 2 と曝気槽 3 とが共有する壁面に設けられることになる。これにより、接続管 1 3 のメンテナンス作業を不要とすることができる。

【 0 0 4 9 】

20

上記の記載に基づいて、当業者であれば、本発明の追加の効果や種々の変形を想到できるかもしれないが、本発明の態様は、上述した実施形態に限定されるものではない。特許請求の範囲に規定された内容及びその均等物から導き出される本発明の概念的な思想と趣旨を逸脱しない範囲で種々の追加、変更及び部分的削除が可能である。

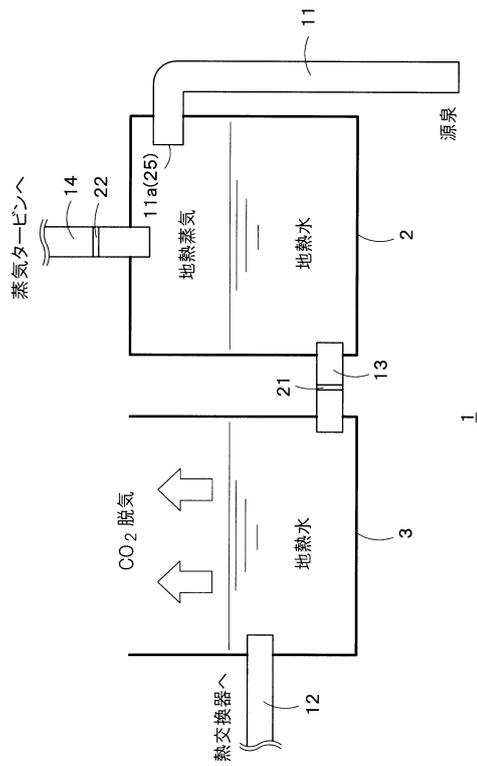
【 符号の説明 】

【 0 0 5 0 】

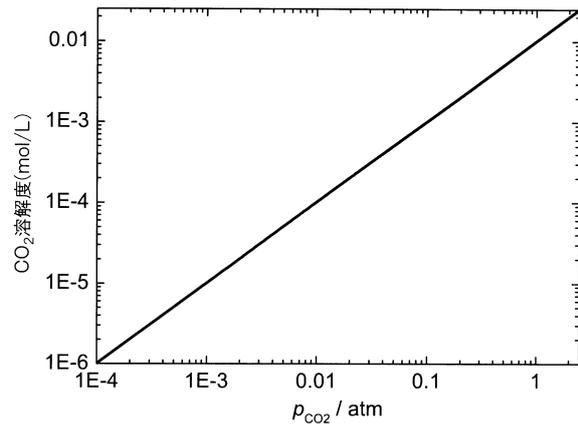
- 1 地熱利用システム
- 2 気水分離槽
- 3 曝気槽
- 1 1 地熱流体取出管
- 1 1 a 流出口
- 1 2 熱水輸送管
- 1 3 接続管
- 1 4 蒸気排気管
- 2 1 , 2 2 逆流防止弁
- 2 5 急減圧防止手段

30

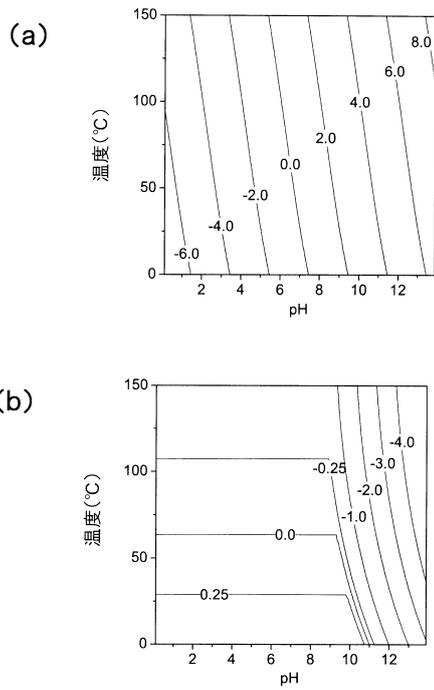
【 図 1 】



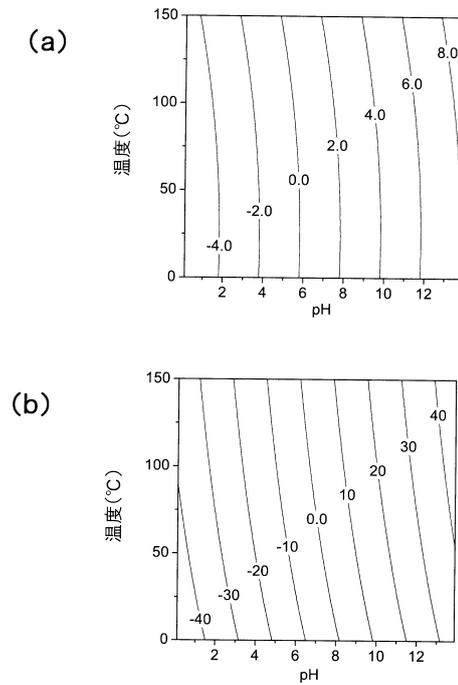
【 図 2 】



【 図 3 】



【 図 4 】



フロントページの続き

(51)Int.Cl. F I
E 2 1 B 43/00 C

(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

審査官 神尾 寧

(56)参考文献 特開平 1 0 - 2 0 5 2 6 6 (J P , A)
特開 2 0 0 9 - 2 7 9 5 3 5 (J P , A)
特開昭 5 5 - 1 1 9 8 8 7 (J P , A)
特開 2 0 0 6 - 1 6 7 6 6 9 (J P , A)
特開平 9 - 2 9 4 9 7 3 (J P , A)
米国特許第 4 2 4 4 1 9 0 (U S , A)
中国実用新案第 2 0 1 9 0 9 4 8 5 (C N , U)

(58)調査した分野(Int.Cl. , DB名)
E 2 1 B 4 3 / 0 0
C 0 2 F 5 / 0 0
C 0 2 F 5 / 0 2
F 2 4 T 1 0 / 0 0