

(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2016-198745
(P2016-198745A)

(43) 公開日 平成28年12月1日(2016.12.1)

(51) Int.Cl.	F I	テーマコード (参考)
CO2F 1/04 (2006.01)	CO2F 1/04 Z A B Z	4 D 0 0 6
BO1D 61/36 (2006.01)	BO1D 61/36	4 D 0 3 4
BO1D 65/00 (2006.01)	BO1D 65/00	
CO2F 1/44 (2006.01)	CO2F 1/44 G	
	CO2F 1/44 K	

審査請求 未請求 請求項の数 5 O L (全 14 頁)

(21) 出願番号	特願2015-82326 (P2015-82326)	(71) 出願人	000005108
(22) 出願日	平成27年4月14日 (2015.4.14)		株式会社日立製作所
		(74) 代理人	110001807
			特許業務法人磯野国際特許商標事務所
		(72) 発明者	照井 茂樹
			東京都千代田区丸の内一丁目6番6号 株
			式会社日立製作所内
		(72) 発明者	磯上 尚志
			東京都千代田区丸の内一丁目6番6号 株
			式会社日立製作所内
		(72) 発明者	八木 康之
			東京都千代田区丸の内一丁目6番6号 株
			式会社日立製作所内

最終頁に続く

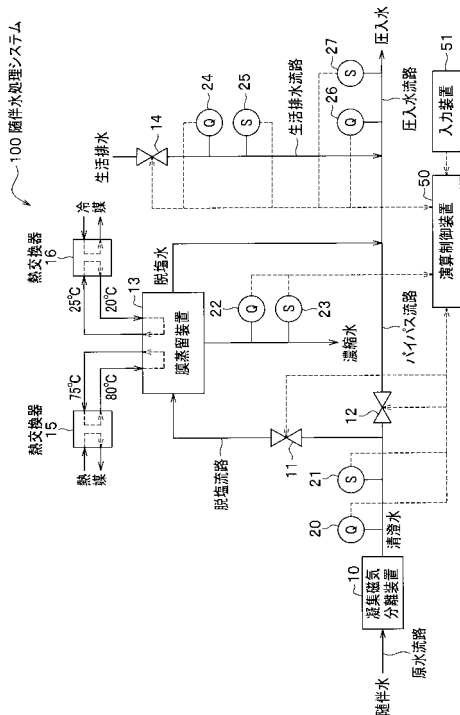
(54) 【発明の名称】 随伴水処理システム

(57) 【要約】

【課題】随伴水を再利用して得られる水の塩濃度を低コストかつ柔軟に設定可能な随伴水の処理システムを提供する。

【解決手段】随伴水が流通する原水流路と、前記原水流路に接続され、前記原水流路を流通する随伴水中の塩分を除去する膜蒸留装置に接続された脱塩流路と、前記脱塩流路に接続され、前記膜蒸留装置において脱塩されることで得られた脱塩水に対して随伴水を供給するバイパス流路と、を備えることを特徴とする、随伴水処理システム100。

【選択図】図1



【特許請求の範囲】**【請求項 1】**

随伴水が流通する原水流路と、

前記原水流路に接続され、前記原水流路を流通する随伴水中の塩分を除去する膜蒸留装置に接続された脱塩流路と、

前記脱塩流路に接続され、前記膜蒸留装置において脱塩されることで得られた脱塩水に対して随伴水を供給する随伴水供給流路と、を備えることを特徴とする、随伴水処理システム。

【請求項 2】

前記膜蒸留装置において脱塩されることで得られた脱塩水に対して、前記随伴水供給流路を流通する随伴水が供給されることで得られた水が流通する圧水流路を備え、

前記圧水流路を流通する水は圧入水として使用されることを特徴とする、請求項 1 に記載の随伴水処理システム。

【請求項 3】

前記原水流路に備えられ、前記原水流路を流通する随伴水に含まれる油分及び固形分を除去する分離装置と、

前記随伴水供給流路の下流側に接続され、前記脱塩流路を経た脱塩水と、前記随伴水供給流路を経た随伴水との混合水に調整水を供給する調整水流路と、

前記調整水流路に備えられ、当該混合水に供給する調整水の流量を調整する調整水流量調整装置と、

前記分離装置において油分及び固形分が除去された随伴水の流量と、前記膜蒸留装置から排出された濃縮水の流量とに基づいて前記調整水流量調整装置を制御する演算制御装置と、を備えることを特徴とする、請求項 1 又は 2 に記載の随伴水処理システム。

【請求項 4】

前記膜蒸留装置に供給される随伴水の流量を調整する第一流量調整装置と、

前記随伴水供給流路を流通する随伴水の流量を調整する第二流量調整装置と、

前記分離装置において油分及び固形分が除去された随伴水の流量及び塩濃度に基づいて、前記第一流量調整装置及び前記第二流量調整装置を制御する演算制御装置と、を備えることを特徴とする、請求項 3 に記載の随伴水処理システム。

【請求項 5】

前記膜蒸留装置には、供給された随伴水を加熱するための加熱装置と、膜透過により発生した水蒸気を冷却して脱塩水とするための冷却装置と、が備えられ、

前記加熱装置及び前記冷却装置のうちの少なくとも一方は、前記原水流路を流通する随伴水の有する温熱又は冷熱を用いて駆動されることを特徴とする、請求項 1 ～ 4 の何れか 1 項に記載の随伴水処理システム。

【発明の詳細な説明】**【技術分野】****【0001】**

本発明は随伴水処理システムに関する。

【背景技術】**【0002】**

石油が産出されるときに油田から随伴して排出される水は随伴水と称される。また、随伴水は、ガス田からも排出される。随伴水には、油分や、砂等の無機系の固形物成分が含まれるほか、採掘を行う地域によっては、塩分や有機物、重金属等も多く含まれている。そのため、随伴水は、必要な処理が施された後、地下に再度圧入して投棄されたり、河川や海洋に放流されたりすることが多い。また、随伴水は、かんがい用水やボイラー用水として再利用されることもある。

【0003】

随伴水の処理方法として、特許文献 1 に記載の技術が知られている。特許文献 1 には、膜法による脱塩装置と蒸発法による濃縮装置とを組み合わせることにより、低い設備コス

10

20

30

40

50

トで安定して随伴水等の塩類を含む水を濃縮し、淡水と塩類に分離することが記載されている。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0004】

【特許文献1】国際公開第2012/008013号

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0005】

随伴水の量が年々増加する一方で、環境保護の観点から、随伴水の地下圧入や河川・海洋放流に対する規制は厳しくなりつつある。そのため、随伴水の再利用が近年求められている。また、今後、油田の老朽化に伴う生産量の減退を食い止めて増産するため、石油増進回収を行うことが予想される。

10

【0006】

石油増進回収は、生産量が低下した油田での生産量を回復及び増加させることを目的として行われるものである。これは、生産井の周囲に設けた圧入井から、様々な流体を圧入することで、石油の生産井への移動を促し、生産井からの石油の生産量を増加させるものである。石油増進回収法としては、石油層の圧力を増加させるために水を圧入する水攻法のほか、油の粘度を低下させて流動性を高めるために水蒸気等の熱源を圧入する熱攻法、油の界面張力を変化させて流動性を高めるために界面活性剤等を圧入するケミカル攻法等

20

【0007】

近年、低塩濃度水を圧入井に圧入する低塩濃度水攻法が注目されている。低塩濃度水攻法は、塩濃度が0.1質量%～0.5質量%程度の圧入水を圧入井から注入して、その中に含まれる様々なイオンの作用により、岩石からの油の剥離を促す石油増進回収法である。低塩濃度水攻法では、圧入水として、自然界に豊富に存在する海水を脱塩した脱塩水が使用可能である。そのため、低塩濃度水攻法には、熱や添加剤を使用するケミカル攻法より低コストで石油増進回収が行える利点がある。

【0008】

随伴水の再利用への要望とあいまって、低塩濃度水攻法においても随伴水を用いる（再利用する）ニーズが高まっている。しかし、随伴水の塩濃度は通常は10質量%～20質量%であるため、随伴水を再利用するには、随伴水を脱塩処理することが好ましい。一般に、塩濃度が3質量%～4質量%の海水を脱塩処理する際には、逆浸透膜法が適用される場合が多い。しかし、随伴水のような高い塩濃度の水の浸透圧は高く、逆浸透膜法により淡水を得るためには非常に高い圧力と、その圧力に強度的に耐えうる膜ベッセルとが必要となる。そのため、現実的には、逆浸透膜法は随伴水に対して適用できない。そこで、随伴水に対しては、熱エネルギーを利用した蒸発法により脱塩処理を行うことが考えられる。中でも、多段効用蒸発法、多段効用膜蒸留法の脱塩技術が考えられる。これらの技術は加熱水（100以上の水蒸気あるいは80程度の温水）の熱による蒸発と冷却水（20程度の冷水）による凝縮とを効率よく行い、脱塩水を得る技術である。

30

40

【0009】

ただ、低塩濃度水攻法に用いられる圧入水の流量や塩濃度は、圧入する井戸や、また、同じ井戸であっても時間により異なる。例えば、圧入水の好適な流量は油層の圧力に依存し、それは生産により時間とともに変化するため、一定ではない。また、圧入水の好適な塩濃度は、圧入する油層中の地層水のイオンの種類やイオン濃度にも依存するため、圧入する井戸により異なる。さらには、圧入水を地層に圧入することで、地層水のイオンの種類やイオン濃度が変化する。従って、圧入水の好適な塩濃度は例えば0.1質量%～0.5質量%になると予想されるものの、圧入水の好適な塩濃度は一定とはならない。

【0010】

しかしながら、前記の多段効用蒸発法や多段効用膜蒸留法を利用した脱塩装置から得ら

50

れる脱塩水の塩濃度は0.1質量%未満となるのが通常である。そのため、その運転条件を制御して任意の塩濃度を有する水を得ることは困難である。また、脱塩装置の処理流量も一定であり、任意の処理流量に変更することは難しい。さらには、これらの脱塩装置は、加熱水や冷却水が用いられることから、周辺設備に温熱源や冷熱源が無い場合には電気エネルギーによる加熱又は冷却に頼らざるを得ず、コスト高の要因となる。

【0011】

本発明はこれらの課題に鑑みて為されたものであり、本発明が解決しようとする課題は、随伴水を再利用して得られる水の塩濃度を低コストかつ柔軟に設定可能な随伴水の処理システムを提供することである。

【課題を解決するための手段】

10

【0012】

本発明者らは前記課題を解決するべく鋭意検討を行った結果、随伴水を膜蒸留して得られた脱塩水に対して、脱塩する前の随伴水を混合するためのバイパス流路を設けることで前記の課題を解決できることを見出した。

【発明の効果】

【0013】

本発明によれば、随伴水を再利用して得られる水の塩濃度を低コストかつ柔軟に設定可能な随伴水の処理システムを提供することができる。

【図面の簡単な説明】

【0014】

20

【図1】第一実施形態の随伴水処理システムを示す系統図である。

【図2】第一実施形態の随伴水処理システムにおいて圧入水の流量を変更するときに行われるフローである。

【図3】第一実施形態の随伴水処理システムにおいて圧入水の塩濃度を変更するときに行われるフローである。

【図4】第二実施形態の随伴水処理システムを示す系統図である。

【図5】第三実施形態の随伴水処理システムを示す系統図である。

【図6】第四実施形態の随伴水処理システムを示す系統図である。

【発明を実施するための形態】

【0015】

30

以下、図面を適宜参照しながら本発明を実施するための形態（本実施形態）を説明する。

【0016】

[1. 第一実施形態]

はじめに、図1を参照しながら随伴水処理システム100の設備構成を説明し、次いで、図2及び図3を参照しながら、随伴水処理システム100における設備の運転方法について説明する。

【0017】

図1は、第一実施形態の随伴水処理システム100を示す系統図である。本実施形態では、随伴水処理システム100（以下、単に「処理システム100」ということがある）は、石油の産出時に排出される随伴水に対し、油分や固形分を除去した後に脱塩処理を行って、随伴水を圧入水として再利用するものである。具体的には、処理システム100は、随伴水に対して膜蒸留処理を行うことで得られた脱塩水を用いて随伴水を希釈し、圧入水を得るものである。高塩濃度の随伴水を脱塩水で希釈することで、好適な塩濃度を有する圧入水が得られる。

40

【0018】

また、処理システム100は、海水淡水化技術等を利用することが難しく、淡水を得にくい陸上の油田（例えば海水が容易に得られない内陸の砂漠地帯にある油田）から排出される随伴水を処理するために好適である。このようにすることで、圧入水用の淡水を得にくい陸上の地域でも、好適な塩濃度を有する圧入水を調製して、油田等に圧入することが

50

できる。

【0019】

処理システム100は、凝集磁気分離装置10と、膜蒸留装置13と、熱交換器15、16と、流量センサ20、22、24、26と、塩濃度センサ21、23、25、27と、弁11、12、14と、演算制御装置50と、入力装置51とを備えている。さらに、これらのほかにも、処理システム100においては、処理システム100内の水（随伴水等）を流通させるときの駆動源となるポンプ（図示しない）等が備えられている。

【0020】

また、処理システム100は、原水流路と、脱塩流路と、バイパス流路（随伴水供給流路）と、圧水流路とを備えている。これらのうち、原水流路は、随伴水を凝集磁気分離装置10に供給するためのものである。また、脱塩流路は、凝集磁気分離装置10において油分及び固形分が除去された後の随伴水（即ち清澄水）が膜蒸留装置13に供給されるためのものである。さらに、バイパス流路は、膜蒸留装置13において脱塩された清澄水（即ち脱塩水）が混合される清澄水が流通するものである。そして、圧入水流路は、脱塩水と清澄水とを混合して得られた圧入水が流通するものである。

【0021】

なお、処理システム100では、凝集磁気分離装置10において油分や固形分が除去された随伴水のことを便宜的に「清澄水」と呼称している。即ち、本明細書において、「清澄水」という文言は発明がわかり易くなるように付した便宜的な名称であり、清澄水は油分や固形分等を除去したこと以外は随伴水と同じものであるから、清澄水は、随伴水の一例となるものである。従って、「随伴水を脱塩水で希釈する」には、「清澄水を脱塩水で希釈する」という形態が含まれ、また、「随伴水を膜蒸留装置で脱塩」には、「清澄水を膜蒸留装置で脱塩」するという形態が含まれるものとする。

【0022】

凝集磁気分離装置10は、処理システム100において処理される随伴水から、含まれる油分や固形分を除去するものである。凝集磁気分離装置10では、いずれも図示しないが、随伴水に対して、磁性粉及び凝集剤が添加される。これにより、随伴水中の油分や固形分がフロックとなり、磁性ドラム等を用いて当該フロックを除去することで、清澄な水（清澄水）が得られる。また、処理システム100では、油分及び固形分濃度は、それぞれ、例えば10mg/L未満まで除去される。

【0023】

凝集磁気分離装置10において得られた清澄水の流量は、凝集磁気分離装置10の下流に備えられた流量センサ20により測定される。また、清澄水の塩濃度は、同じくその下流側に備えられた塩濃度センサ21により測定される。ここでいう「塩濃度」とは、随伴水に含まれる金属イオン（ナトリウムイオンやカルシウムイオン等）のほか、塩を構成する陰イオン（塩化物イオンや硫酸イオン等）濃度を表すものとする。

【0024】

なお、詳細は図2等を参照しながら後記するが、流量センサ20により測定された流量Q1及び塩濃度センサ21により測定された塩濃度C1は、演算制御装置50に入力される。

【0025】

膜蒸留装置13は、前記の凝集磁気分離装置10において得られた清澄水に対して脱塩処理を行い、塩を含まない脱塩水を得るものである。膜蒸留装置13は、いずれも図示しないが、脱塩流路を経て供給された清澄水を加熱するための加熱器と、清澄水が加熱されることで発生した水蒸気を透過させる多孔質膜と、多孔質膜の透過側を減圧するための減圧ポンプと、多孔質膜を透過した水蒸気を冷却して脱塩水を得る冷却器と、を備えている。また、膜蒸留装置13において、前記の多孔質膜を透過しなかった塩分（多少の水を含む）等は、濃縮水として、膜蒸留装置13の外部に排出される。

【0026】

なお、詳細は図2等を参照しながら後記するが、濃縮水の流量Q2は、流量センサ22

10

20

30

40

50

により測定され、演算制御装置 50 に入力される。また、濃縮水の塩濃度 C 2 は、塩濃度センサ 23 により測定され、同じく演算制御装置 50 に入力される。

【0027】

膜蒸留装置 13 に備えられる加熱器は、熱交換器 15 と配管を通じて接続されており、熱媒が流通するようになっている。また、熱交換器 15 では、温熱を帯びた熱媒が流通しており、この熱媒の有する温熱によって、膜蒸留装置 13 において清澄水が加熱されるようになっている。なお、本実施形態では、熱交換器 15 から膜蒸留装置 13 の加熱器に供給される熱媒の温度は 80 程度であり、膜蒸留装置 13 の加熱器から熱交換器 15 に供給される熱媒の温度は 75 程度である。

【0028】

また、膜蒸留装置 13 に備えられる冷却器は、熱交換器 16 と配管を通じて接続されており、冷媒が流通するようになっている。また、熱交換器 15 では、冷熱を帯びた冷媒が流通しており、この冷媒の有する冷熱によって、前記の多孔質膜を透過した水蒸気が冷却されるようになっている。そして、この水蒸気が冷却されることで、脱塩水が得られる。なお、本実施形態では、熱交換器 16 から膜蒸留装置 13 の冷却器に供給される冷媒の温度は 20 程度であり、膜蒸留装置 13 の冷却器から熱交換器 16 に供給される冷媒の温度は 25 程度である。

【0029】

ここで、膜蒸留装置 13 において得られた脱塩水と、前記の凝集磁気分離装置 10 において得られた清澄水とを混合するためのバイパス流路について説明する。バイパス流路は、前記のように、凝集磁気分離装置 10 において得られた清澄水（塩を含む）と、膜蒸留装置 13 において得られた脱塩水（塩を含まない）とを混合するためのものである。バイパス流路を流通する清澄水の流量は、脱塩流路上に備えられた弁 11 と、バイパス流路上に備えられた弁 12 とが演算制御装置 50 によって制御されることで、変更可能になっている。なお、この制御は、図 2 等を参照しながら後記する。

【0030】

膜蒸留装置 13 からの脱塩水と、バイパス流路を経た清澄水との混合水には、生活排水流路からの生活排水が供給される。生活排水の塩濃度は、随伴水の塩濃度や清澄水の塩濃度よりも、ずっと低いものである。供給される生活排水の流量 Q 3 及び塩濃度 C 3 は、それぞれ、流量センサ 24 及び塩濃度センサ 25 により測定される。測定された流量 Q 3 及び塩濃度 C 3 は、演算制御装置 50 に入力される。また、生活排水の供給量は、生活排水流路上に備えられた弁 14 の開度が演算制御装置 50 によって制御されることで、変更可能になっている。

【0031】

膜蒸留装置 13 からの脱塩水と、バイパス流路を経た清澄水と、生活排水流路を経た生活排水との混合水は、圧入水流路を流通して圧入水として使用される。ここでいう圧入水は、例えば水攻法や低塩分濃度水攻法用の圧入水である。また、圧入水流路を流通する圧入水の流量 Q 4 及び塩濃度 C 4 は、それぞれ、流量センサ 26 及び塩濃度センサ 27 により測定され、演算制御装置 50 に入力される。

【0032】

演算制御装置 50 は、流量センサ 20, 22, 24, 26 により測定された流量 Q 1, Q 2, Q 3, Q 4、及び、塩濃度センサ 21, 23, 25, 27 により測定された塩濃度 C 1, C 2, C 3, C 4 に基づいて、弁 11, 12, 14 の開度を制御するものである。演算制御装置 50 には後記する入力装置 51 が接続され、入力装置 51 に入力された入力値に基づいて、演算制御装置 50 が弁 11, 12, 14 の開度を制御するようになっている。なお、演算制御装置 50 によりこれらの具体的な制御方法は後記する。

【0033】

演算制御装置 50 は、いずれも図示しないが、CPU (Central Processing Unit)、RAM (Random Access Memory)、ROM (Read Only Memory)、I/F (インターフェイス)、HDD (Hard Disk Drive)、センサ回路、制御回路等を備え、ROM に格納さ

10

20

30

40

50

れている所定の制御プログラムがCPUによって実行されることにより具現化される。

【0034】

入力装置51は、圧入水の流量 Q_4 や塩濃度 C_4 等の運転条件を管理者が入力するためのものである。入力装置51は、例えばキーボードやマウス、モニタ（いずれも図示しない）等を備えて構成され、キーボード等から入力された値が前記の演算制御装置50に入力されるようになっている。

【0035】

次に、図2及び図3を適宜参照しながら、図1を参照しながら説明した処理システム100における設備の運転方法を説明する。

【0036】

油田において産油を行う際、産油に伴う油層の圧力低下に起因して産油量が減少する。そこで、石油が回収された後の空隙に圧入水を入れて油層の圧力を維持することで、安定した産油量の確保が図られる。そのため、圧入水の流量は、任意に変更できることが好ましい。しかし、処理システム100に供給される随伴水の量は変動し得る。また、膜蒸留装置13において得られる脱塩水の流量も変更し得る。従って、圧入水の流量を変更した場合や、随伴水や脱塩水の流量が変化した場合に、前記のように様々な要素に基づく制御が必要となるため、対応が煩雑である。

【0037】

ここで、前記の図1に示した流量センサ20により測定される清澄水の流量を Q_1 、流量センサ22により測定される濃縮水の流量を Q_2 、流量センサ24により測定される生活排水の流量を Q_3 、流量センサ26により測定される圧入水の流量を Q_4 とする。そうすると、処理システム100全体の流量のバランスから、以下の式(1)が成立する。

$$Q_1 + Q_3 = Q_2 + Q_4$$

$$Q_3 = Q_2 + Q_4 - Q_1 \cdots \text{式(1)}$$

従って、清澄水の流量 Q_1 と、濃縮水の流量 Q_2 と、生活排水の流量 Q_3 と、圧入水の流量 Q_4 との間には、この式(1)の関係が成立することになる。

【0038】

なお、式(1)を用いて生活排水の流量 Q_3 を算出するに際して、濃縮水の流量 Q_2 の代わりに、脱塩水の流量を用いることも考えられる。しかし、膜蒸留装置13からの脱塩水は純水であるため、脱塩水の導電率は $10 \mu S / cm$ 以下と、極めて低い。そのため、この脱塩水の流量を測定するにあたって、安価な電磁流量計を用いることが難しい。一方で、膜蒸留装置13から濃縮水の導電率は十分に高いため、濃縮水の流量を測定するにあたって、安価な電磁流量計を好ましく使用することができる。

ただし、脱塩水の流量を用いることを排除するものではなく、必要に応じて、脱塩水の流量を用いて生活排水の流量 Q_3 を算出してもよい。

【0039】

図2は、第一実施形態の随伴水処理システム100において圧入水の流量 Q_4 を変更するときに行われるフローである。図2に示すフローは、特に断らない限り、前記の演算制御装置50によって実行される。また、図2に示すフローの実行時には、弁11, 12の開度は一定である。なお、弁11, 12の初期の開度は、初期の随伴水の流量及び塩濃度と、初期の目標流量及び目標塩濃度とから、後記する式(5)により α を算出し、その結果に基づいて設定される。

【0040】

まず、管理者は、入力装置51を操作して、所望の圧入水の流量 Q_{4i} を入力する（ステップS101）。この入力値 Q_{4i} は、演算制御装置50（図1参照）に入力される。そして、演算制御装置50は、流量センサ20により、清澄水の流量 Q_1 を測定する（ステップS102）。さらに、演算制御装置50は、流量センサ22により、濃縮水の流量 Q_2 を測定する（ステップS103）。

【0041】

そして、演算制御装置50は、測定された流量 Q_1 及び流量 Q_2 、並びに、入力された

10

20

30

40

50

流量 $Q4i$ と、前記の式 (1) (即ち流量バランス) とに基づいて、生活排水の流量 $Q3$ を決定する (ステップ S104)。次いで、演算制御装置 50 は、決定された生活排水の流量 $Q3$ と、弁 14 と生活排水の流量 $Q3$ との関係式 (試運転等により予め決定されている) と、に基づいて、弁 14 の開度を決定する (ステップ S105)。そして、演算制御装置 50 は、弁 14 の開度を決定された開度に変更する (ステップ S106)。

【0042】

弁 14 の開度を変更して例えば数分～数十分が経過した後、演算制御装置 50 は、流量センサ 26 により、圧入水の流量 $Q4$ を測定する (ステップ S107)。次いで、演算制御装置 50 は、測定された流量 $Q4$ と、ステップ S101 において入力された入力値 $Q4i$ とを比較し、これらが同じであるかを判断する (ステップ S108)。同じであった場合には (ステップ S108 の Yes 方向)、そのまま運転が継続される。一方で、異なる場合には (ステップ S108 の No 方向)、再度数分～数十分の間待機して、前記のステップ S102～ステップ S107 を再度繰り返す。

10

【0043】

以上の図 2 に示すフローにより、生活排水の流量 $Q3$ を制御することで、圧入水の流量 $Q4$ が所望の量に変更可能になる。従って、油田等の場所や産油状態、油層の状態等に応じて、圧入水を所望の流量 $Q4i$ で安定して圧入することができる。

【0044】

ただし、前記の図 2 に示すフローでは、圧入水の塩濃度については考慮していない。しかし、前記のように、圧入水を圧入する地域等によっては、圧入水の好適な塩濃度が異なることがある。また、随伴水の塩濃度は、回収場所や時期によって異なる場合があり、このような場合では、同じ運転条件で圧入していると、圧入する圧入水の塩濃度が変化してしまうことがある。そこで、良好な採油効率を維持するために、圧入水の塩濃度を制御したい場合がある。

20

【0045】

ここで、前記の図 1 に示した塩濃度センサ 21 により測定される清澄水の塩濃度を $C1$ 、塩濃度センサ 23 により測定される濃縮水の塩濃度を $C2$ 、塩濃度センサ 25 により測定される生活排水の塩濃度を $C3$ 、塩濃度センサ 27 により測定される圧入水の塩濃度を $C4$ とする。そうすると、処理システム 100 全体の塩濃度のバランスから、以下の式 (2) が成立する。

30

$$Q1 \cdot C1 + Q3 \cdot C3 = Q2 \cdot C2 + Q4 \cdot C4$$

$$Q3 \cdot C3 = Q2 \cdot C2 + Q4 \cdot C4 - Q1 \cdot C1 \quad \dots \quad \text{式 (2)}$$

【0046】

清澄水の流量 $Q1$ に対する、バイパス流路を流通する清澄水の流量の割合を α (バイパス率) とする。このバイパス率 α は、脱塩流路に備えられた弁 11 と、バイパス流路に備えられた弁 12 とを制御することで、変更可能である。そして、脱塩流路を流通して膜蒸留装置 13 に供給された清澄水に含まれる塩分は、膜蒸留装置 13 から排出される濃縮水に含まれることから、以下の式 (3) が成立する。

$$Q1 \cdot (1 - \alpha) C1 = Q2 \cdot C2 \quad \dots \quad \text{式 (3)}$$

【0047】

40

この式 (3) と、前記の式 (2) とにより、以下の式 (4) が導かれる。

$$Q3 \cdot C3 = Q1 \cdot (1 - \alpha) C1 + Q4 \cdot C4 - Q1 \cdot C1 \quad \dots \quad \text{式 (4)}$$

そして、生活排水の塩濃度 $C3$ は、随伴水の塩濃度 $C1$ と比べて十分に小さい。従って、 $C3 / C1 = 0$ と近似すると、前記の式 (4) は以下の式 (5) に近似できる。

$$0 = Q1 \cdot (1 - \alpha) + Q4 \cdot C4 / C1 - Q1$$

$$\alpha = Q4 \cdot C4 / Q1 \cdot C1 \quad \dots \quad \text{式 (5)}$$

従って、バイパス流路を流通する清澄水の流量の割合 α (バイパス率) と、清澄水の流量 $Q1$ 及び塩濃度 $C1$ と、圧入水の流量 $Q4$ 及び塩濃度 $C4$ との間には、この式 (5) の関係が成立することになる。

【0048】

50

図 3 は、第一実施形態の随伴水処理システム 100 において圧入水の塩濃度 C_4 を変更するときに行われるフローである。図 3 に示すフローは、特に断らない限り、前記の演算制御装置 50 によって実行される。まず、管理者は、入力装置 51 を操作して、所望の圧入水の流量 $Q_4 i$ 及び圧入水の塩濃度 $C_4 i$ を入力する（ステップ S 201）。この入力値 $Q_4 i$ 及び $C_4 i$ は、演算制御装置 50（図 1 参照）に入力される。そして、演算制御装置 50 は、流量センサ 20 により清澄水の流量 Q_1 を、また、塩濃度センサ 21 により清澄水の塩濃度 C_1 を測定する（ステップ S 202）。

【0049】

そして、演算制御装置 50 は、測定された流量 Q_1 及び塩濃度 C_1 、並びに、入力された流量 $Q_4 i$ 及び塩濃度 $C_4 i$ と、前記の式（5）（即ちマスバランス）とに基づいて、バイパス流路を通じてバイパスさせる清澄水の割合（バイパス率 α ）を決定する（ステップ S 203）。ちなみに、このバイパス率 α が決定されれば、バイパス流路を流通させる清澄水の流量が決定される。

【0050】

次いで、演算制御装置 50 は、決定されたバイパス率 α と、弁 11, 12 とバイパスする水量との関係式（試運転等により予め決定されている）と、に基づいて、弁 11, 12 の開度を決定する（ステップ S 204）。なお、バイパスする水量が多ければ弁 11 の開度が小さくなる一方で弁 12 の開度は大きくなり、バイパスする水量が少なければ弁 11 の開度が大きくなる一方で弁 12 の開度は小さくなる。そして、演算制御装置 50 は、弁 11, 12 の開度を決定された開度に変更する（ステップ S 205）。

【0051】

弁 11, 12 の開度を変更して例えば数分～数十分が経過した後、演算制御装置 50 は、塩濃度センサ 27 により、圧入水の塩濃度 C_4 を測定する（ステップ S 206）。次いで、演算制御装置 50 は、測定された塩濃度 C_4 と、ステップ S 201 において入力された入力値 $C_4 i$ とを比較し、これらが同じであるかを判断する（ステップ S 207）。同じであった場合には（ステップ S 207 の Yes 方向）、そのまま運転が継続される。一方で、異なる場合には（ステップ S 207 の No 方向）、再度数分～数十分の間待機して、前記のステップ S 202～ステップ 207 を再度繰り返す。

【0052】

以上の図 3 に示すフローにより、油田等の場所や産油状態、油層の状態等に応じて、圧入水の流量 Q_4 及び塩濃度 C_4 を制御することができる。そのため、所望の塩濃度 $C_4 i$ を有する圧入水を所望の流量 $Q_4 i$ で圧入することができ、安定した採油が可能となる。

【0053】

[2 . 第二実施形態]

次に、図 4 を参照しながら、第二実施形態に係る随伴水処理システム 200（以下、単に「処理システム 200」ということがある）の設備構成について説明する。なお、図 4 に示す処理システム 200 においては、前記の処理システム 100 における設備の運転方法（図 2 及び図 3 参照）と同様にして設備の運転が行われるため、処理システム 200 において行われる設備の運転方法の説明は省略する。また、図 4 において、図 1 に示した設備と同じものについては同じ符号を付すものとする。

【0054】

図 4 は、第二実施形態の随伴水処理システム 200 を示す系統図である。地下数千メートルから生産される石油は地球内部の熱エネルギーにより加熱されているため、それに伴って排出される随伴水も、その温度が高い場合が多い（具体的には例えば 80 程度）。そこで、このような場合には、随伴水は熱交換器 15 に供給され、随伴水の有する温熱は膜蒸留装置 13 において清澄水を加熱するために用いられる。このようにすることで、膜蒸留装置 13 において使用される温熱のエネルギーを削減でき、使用エネルギーの削減を図ることができる。

【0055】

さらには、例えば 80 程度のような高温のままでは、樹脂部品が熱劣化して耐久性が

10

20

30

40

50

低下したり、磁石に不可逆な減磁が生じて分離性能が低下したりする等の課題が発生し易い。そのため、高温の随伴水をそのまま凝集磁気分離装置 10 に供給することが難しい。しかし、熱交換器 15 において温熱を失って温度を下げた随伴水とすることで、そのような課題が軽減され、凝集磁気分離装置 10 にそのまま供給することができる。

【0056】

[3 . 第三実施形態]

次に、図 5 を参照しながら、第三実施形態に係る随伴水処理システム 300 (以下、単に「処理システム 300」ということがある)の設備構成について説明する。なお、図 5 に示す処理システム 300 においては、前記の処理システム 100 における設備の運転方法(図 2 及び図 3 参照)と同様にして設備の運転が行われるため、処理システム 300 において行われる設備の運転方法の説明は省略する。また、図 5 において、図 1 に示した設備と同じものについては同じ符号を付すものとする。

10

【0057】

図 5 は、第三実施形態の随伴水処理システム 300 を示す系統図である。前記のように生産直後の随伴水は高温の場合が多いが、随伴水がパイプラインで地上や海中を長距離輸送される場合、その温度は低下する(例えば、寒冷地帯では 20 以下にもなる)。そこで、このような場合には、随伴水は熱交換器 16 に供給され、随伴水の有する冷熱は膜蒸留装置 13 において水蒸気を冷却するために用いられる。このようにすることで、膜蒸留装置 13 において使用される冷熱のエネルギーを削減でき、使用エネルギーの削減を図ることができる。

20

【0058】

また、膜蒸留装置 13 の冷熱源としては海水が用いられることが多いが、例えば寒冷地帯に設置され、海水が容易に得られない陸上の油田においては、随伴水が有効な冷熱源として利用される。さらには、随伴水が加熱されるため、膜蒸留装置 13 からの廃熱がリサイクルされることとなり、システムの熱効率が向上するメリットもある。

【0059】

[4 . 第四実施形態]

次に、図 6 を参照しながら、第四実施形態に係る随伴水処理システム 400 (以下、単に「処理システム 400」ということがある)の設備構成について説明する。なお、図 6 に示す処理システム 400 においては、前記の処理システム 100 における設備の運転方法(図 2 及び図 3 参照)と同様にして設備の運転が行われるため、処理システム 400 において行われる設備の運転方法の説明は省略する。また、図 6 において、図 1 に示した設備と同じものについては同じ符号を付すものとする。

30

【0060】

図 6 は、第四実施形態の随伴水処理システム 400 を示す系統図である。前記の処理システム 200 に供給される随伴水の温度は例えば 80 程度であり、処理システム 300 に供給される随伴水の温度は例えば 20 程度であった。しかし、随伴水の温度がこれらの温度の中間程度の温度(例えば 45 程度)である場合には、図 6 に示す処理システム 400 が好適である。

【0061】

40

図 6 に示す処理システム 400 では、随伴水の有する温熱を用いて、膜蒸留装置 15 で用いる熱媒を加熱するヒートポンプ 17 が備えられている。ヒートポンプ 17 は電気エネルギーにより熱移動を行う装置であるが、それを用いることで温熱源又は冷熱源としても利用に適さない随伴水をそれら熱源として有効利用することができる。そして、ヒートポンプ 17 において温熱を失って冷却された随伴水は、熱交換器 16 に供給され、この随伴水の有する冷熱が膜蒸留装置 13 において水蒸気を冷却するために用いられるようになっている。このようにすることで、膜蒸留装置 13 での使用されるエネルギーをよりいっそう削減することができる。

【0062】

[5 . 変形例]

50

以上、四つの実施形態を挙げて本実施形態を説明したが、本実施形態は前記の例になんら限定されるものではない。

例えば、随伴水から油分や固形分を除去する装置としては、前記の凝集磁気分離装置 10 に限られず、例えば、ハイドロサイクロン、コアレッサ、加圧浮上分離装置、メディアフィルタ、膜分離装置等であってもよい。

【0063】

さらに、前記実施形態では原水の全量を凝集磁気分離装置 10 に供給し、原水中の油分及び固形分を除去したが、凝集磁気分離装置 10 を脱塩流路内に設置し、膜蒸留装置 13 に流入する随伴水のみについて、油分及び固形分を除去することも可能である。この場合、凝集磁気分離装置 10 に供給される随伴水の量がバイパス流路の随伴水の分だけ削減でき 10
るため処理装置を小容量化することができる。特に、圧入する油層によっては、油分及び固形分の混入が許容される場合がある。そのため、バイパス流路の随伴水には油分及び固形分が含まれるものの、このような油層に圧入する場合には、このような設置形態も好適である。

【0064】

また、前記の各実施形態の系統図において、油分及び固形分を更に除去する目的で、凝集磁気分離装置 10 の後段にメディアフィルタや膜分離装置（いずれも図示しない）を設置することも考えられる。その場合には、これらによって処理された後の清澄水の油分濃度を 1 mg / L 未満、固形分濃度を 1 mg / L 未満にすることができる。これにより、後 20
段の膜蒸留装置 13 における膜蒸留効率を高めることができ、より多くの脱塩水を得ることができる。

【0065】

また、膜蒸留装置 13 における清澄水の加熱は、熱交換器 15 に供給された熱媒の有する温熱を用いているが、この加熱は、例えば電気やガスのエネルギーを用いてもよいし、石油生産現場で用いられる圧縮機、発電機、電動機から排出される排熱、発電所から排出される排熱、一般工場排熱、バイオマス発電あるいは太陽光発電により得られる電気エネルギー、太陽熱パネルから得られる温水、温泉水等を用いてもよい。

【0066】

さらには、膜蒸留装置 13 における水蒸気の冷却には、熱交換器 16 に供給された冷媒の有する冷熱を用いているが、この冷却は、例えば電気やガスのエネルギーを用いるほか、 30
生活排水、工場排水、河川水、下水処理水、海洋深層水、地下水、飲料水等の有する冷熱を用いてもよい。

【0067】

また、図 1、図 4 ~ 6 中に記載した温度はあくまでも一例であって、適用先に応じて適切な温度となるように熱交換器 15 , 16 やヒートポンプ 17 を選定することができる。

【0068】

さらに、図 2 に示すステップ S 102 ~ ステップ 107 や、図 3 に示すステップ S 202 ~ ステップ 207 の繰り返しについて、前記の各実施形態では、「数分 ~ 数十分が経過した後」を例として説明したが、産油量の安定度により、前記実施形態で例示した期間に代えて、「数日 ~ 数週間が経過した後」としてもよい。即ち、繰り返す期間は、随伴水処理 40
システム 100 の運転状況に応じて任意に設定することができる。

【0069】

また、図 2 や図 3 に示されたフローは、前記の実施形態では、演算制御装置 50 によって自動的に実行されている。しかし、必要な圧入水の量や塩分濃度の変化が大きい場合には、必要に応じて、演算制御装置 50 に代わってシステムの管理者が手動でバルブ操作を行い、圧入水の量や塩分濃度を調整してもよい。さらに、自動的な演算制御装置 50 の実行と手動での操作とを切替えて調整してもよい。

【0070】

さらに、脱塩水と清澄水との混合水に添加される水としては、生活排水に限られず、例えば地下水や工場排水、工業用水、河川の水、下水処理水等、随伴水（清澄水を含む概念 50

である)の塩濃度よりも塩濃度が低い水であればどのようなものであってもよい。

【 0 0 7 1 】

また、前記の例では、石油の油田からの随伴水を例示したが、例えばガス田から発生する随伴水に対して前記の各処理システムを適用してもよい。また、逆浸透膜法による海水淡水化で発生する濃縮海水（ブライン）やその他脱塩装置から排出される高塩分濃度の濃縮塩水の処理とその再利用に本システムを適用することもできる。さらには、石油脱塩装置から排出される塩水の脱塩、再利用等の石油化学産業における廃水の脱塩処理に適用することもできる。

【 0 0 7 2 】

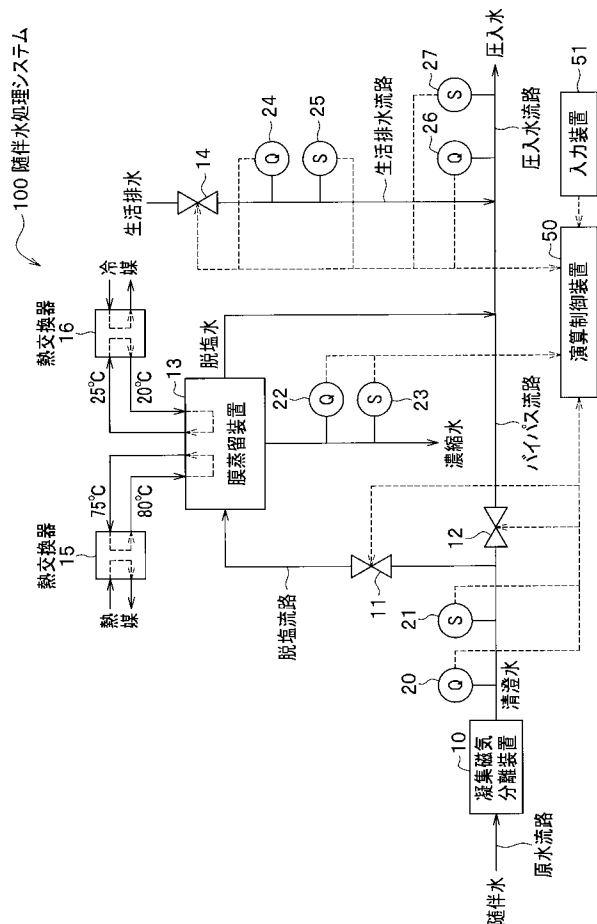
さらに、前記の例では、随伴水は圧入水として再利用したが、塩濃度を適宜調整することで、工業用水や灌漑用水、ボイラー用水等として使用することもできる。また、有機物や重金属等の人体に有害な物質を除去することで飲料水として使用することもできる。

【符号の説明】

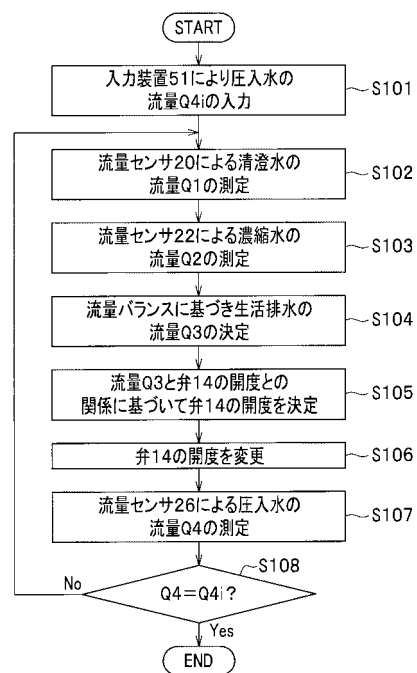
【 0 0 7 3 】

- | | |
|-------------------------------|----------------|
| 1 0 | 凝集磁気分離装置（分離装置） |
| 1 1 | 弁（第一流量調整装置） |
| 1 2 | 弁（第二流量調整装置） |
| 1 4 | 弁（調整水流量調整装置） |
| 1 3 | 膜蒸留装置 |
| 1 5 , 1 6 | 熱交換器 |
| 1 7 | ヒートポンプ |
| 5 0 | 演算制御装置 |
| 2 0 , 2 2 , 2 4 , 2 6 | 流量センサ |
| 2 1 , 2 3 , 2 5 , 2 6 | 塩濃度センサ |
| 1 0 0 , 2 0 0 , 3 0 0 , 4 0 0 | 処理システム |

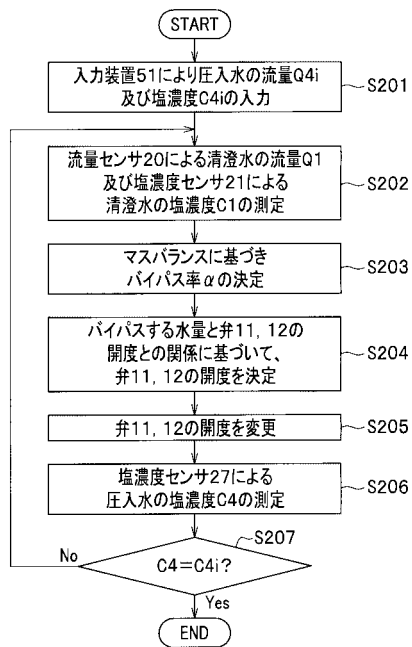
【 図 1 】



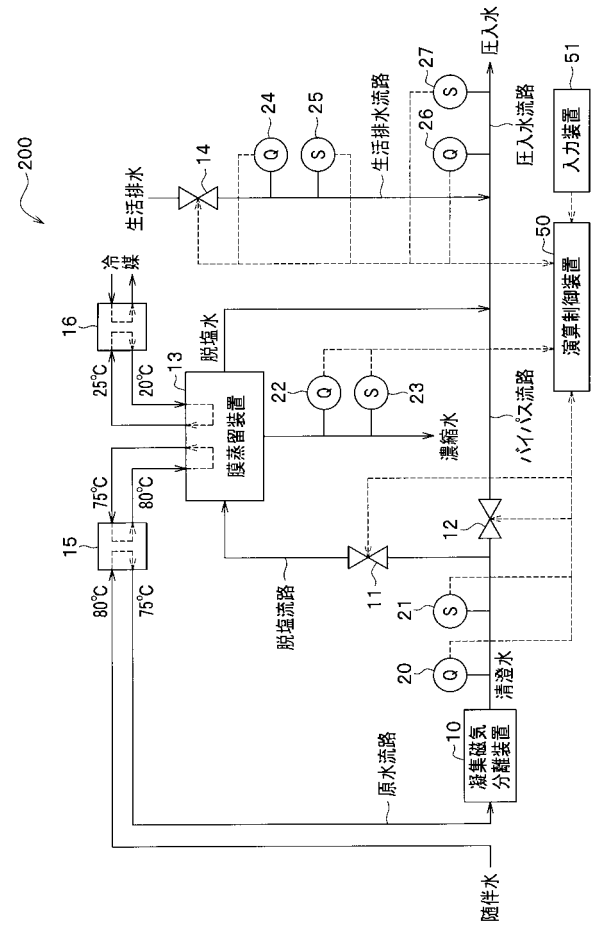
【 図 2 】



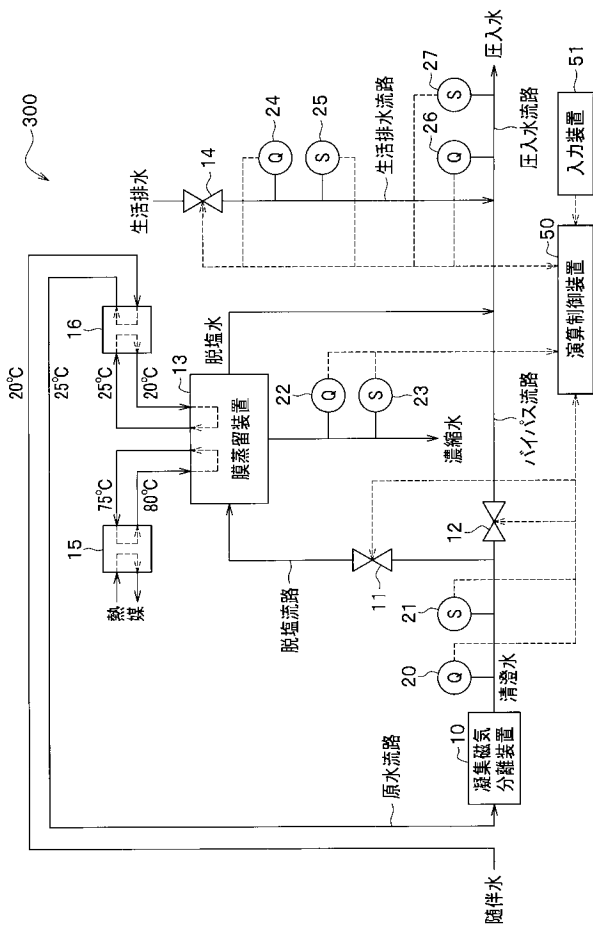
【図 3】



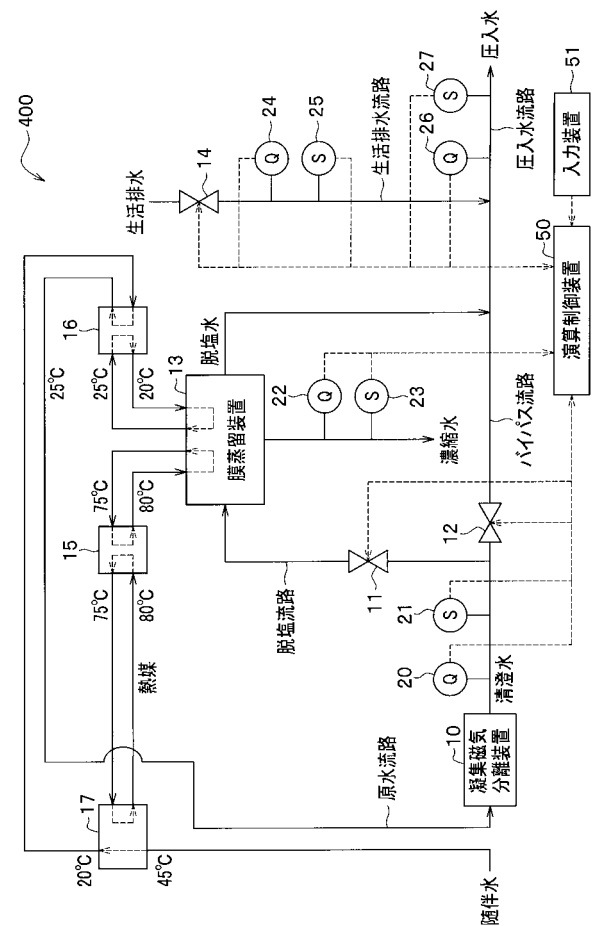
【図 4】



【図 5】



【図 6】



フロントページの続き

(72)発明者 近藤 泰堂

東京都千代田区丸の内一丁目6番6号 株式会社日立製作所内

(72)発明者 岩本 和也

東京都千代田区丸の内一丁目6番6号 株式会社日立製作所内

Fターム(参考) 4D006 GA27 JA59Z JA66Z KA02 KB02 KB13 KD08 KE02P KE02Q KE04P
KE12P KE14P PA01 PA02 PB08 PC23
4D034 AA27 BA03 CA17