

(19)日本国特許庁(JP)

(12)特許公報(B2)

(11)特許番号
特許第7544499号
(P7544499)

(45)発行日 令和6年9月3日(2024.9.3)

(24)登録日 令和6年8月26日(2024.8.26)

(51)国際特許分類		F I		
C 0 1 B	3/26 (2006.01)	C 0 1 B	3/26	
C 0 1 B	3/56 (2006.01)	C 0 1 B	3/56	Z
C 0 7 C	5/367(2006.01)	C 0 7 C	5/367	
C 0 7 C	15/06 (2006.01)	C 0 7 C	15/06	
H 0 1 M	8/0612(2016.01)	H 0 1 M	8/0612	

請求項の数 6 (全15頁)

(21)出願番号	特願2020-62504(P2020-62504)	(73)特許権者	000004444 E N E O S 株式会社 東京都千代田区大手町一丁目 1 番 2 号
(22)出願日	令和2年3月31日(2020.3.31)	(74)代理人	100088155 弁理士 長谷川 芳樹
(65)公開番号	特開2021-160960(P2021-160960 A)	(74)代理人	100113435 弁理士 黒木 義樹
(43)公開日	令和3年10月11日(2021.10.11)	(74)代理人	100128381 弁理士 清水 義憲
審査請求日	令和5年3月17日(2023.3.17)	(74)代理人	100169454 弁理士 平野 裕之
		(74)代理人	100162640 弁理士 柳 康樹
		(72)発明者	清家 匡 東京都千代田区大手町一丁目 1 番 2 号

最終頁に続く

(54)【発明の名称】 水素供給システム、及び水素製造方法

(57)【特許請求の範囲】

【請求項 1】

水素の供給を行う水素供給システムであって、
水素化物を含む原料を脱水素反応させることによって水素含有ガスを得る脱水素反応部と、

電力を用いて前記脱水素反応部を加熱する加熱機構と、
前記加熱機構へ二酸化炭素回収・貯留付火力発電に基づく電力を供給する電力供給部と、
を備える、水素供給システム。

【請求項 2】

前記電力供給部は、二酸化炭素回収・貯留付火力発電に基づく電力を蓄電する蓄電部を備える、請求項 1 に記載の水素供給システム。

10

【請求項 3】

前記電力供給部は、
電力市場での電力単価の安い時に二酸化炭素回収・貯留付火力発電に基づく電力を前記蓄電部に蓄電するとともに前記加熱機構で用い、
電力市場での電力単価が高い時に前記蓄電部より放電した電力を前記加熱機構で用いる、
請求項 2 に記載の水素供給システム。

【請求項 4】

前記電力供給部は、
電力源と前記蓄電部とを接続する第 1 のラインと、

20

前記第1のラインに設けられた受電盤、及びパワーコンディショナと、
前記蓄電部と前記加熱機構とを接続する第2のラインと、を更に備え、
前記第2のラインは、前記パワーコンディショナに接続される、請求項2又は3に記載
の水素供給システム。

【請求項5】

水素ステーションである、請求項1～4の何れか一項に記載の水素供給システム。

【請求項6】

水素の供給を行う水素製造方法であって、
水素化物を含む原料を脱水素反応させることによって水素含有ガスを得る脱水素反応工
程と、

電力を用いて前記脱水素反応工程において加熱部で加熱する加熱工程と、
前記加熱部へ二酸化炭素回収・貯留付火力発電に基づく電力を供給する電力供給工程と
、を備える、水素製造方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、水素の供給を行う水素供給システムに関する。

【背景技術】

【0002】

従来の水素供給システムとして、例えば特許文献1に挙げるものが知られている。特許
文献1の水素供給システムは、原料の芳香族炭化水素の水素化物を貯蔵するタンクと、当
該タンクから供給された原料を脱水素反応させることによって水素を得る脱水素反応部と
、脱水素反応部で得られた水素を気液分離する気液分離部と、気液分離された水素を精製
する水素精製部と、を備える。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0003】

【文献】特開2006-232607号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0004】

上述したような水素供給システムにおいて、脱水素反応部は、吸熱反応によって原料を
脱水素反応させるものである。従って、水素供給システムは、脱水素反応部を加熱する加
熱機構を備える。ここで、加熱機構で脱水素反応部を加熱するにはエネルギーが必要であ
る。このとき、加熱機構が化石燃料を燃焼させて加熱を行うことでCO₂が発生する。水
素供給システムでは、水素を製造するときのCO₂を低減することが求められていた。

【0005】

本発明は、上記課題の解決のためになされたものであり、水素を製造するときのCO₂
を低減できる水素供給システム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】

上記課題の解決のため、本発明に係る水素供給システムは、水素の供給を行う水素供給
システムであって、水素化物を含む原料を脱水素反応させることによって水素含有ガスを得
る脱水素反応部と、電力を用いて脱水素反応部を加熱する加熱機構と、加熱機構へ再生
可能エネルギーに基づく電力、及び二酸化炭素回収・貯留付火力発電に基づく電力の少な
くとも一方を供給する電力供給部と、を備える。

【0007】

水素供給システムは、電力を用いて脱水素反応部を加熱する加熱機構を備える。この加
熱機構へ電力を供給する電力供給部は、加熱機構へ再生可能エネルギーに基づく電力、及
び二酸化炭素回収・貯留付火力発電に基づく電力の少なくとも一方を供給することができ

10

20

30

40

50

る。これにより、加熱機構は、再生可能エネルギーに基づく電力等によって、脱水素反応部を加熱することができる。水素供給システムは、再生可能エネルギーを用いることにより、化石燃料を用いることなく、又は化石燃料を低減した状態で、水素を製造することができる。また、水素供給システムは、二酸化炭素回収・貯留付火力発電を用いることにより、電力を得るときのCO₂を低減できる。以上により、水素を製造するときのCO₂を低減できる。

【0008】

電力供給部は、再生可能エネルギーに基づく電力、及び二酸化炭素回収・貯留付火力発電に基づく電力の少なくとも一方を蓄電する蓄電部を備えてよい。再生可能エネルギーに基づく電力は、化石燃料によるエネルギーとは異なり、使用者の意図に従った出力を得にくい場合がある。例えば、太陽光発電、風力発電、及び水力発電などは、天候や自然の状態に左右される。これに対し、電力供給部は、電力を蓄電する蓄電部を備える。従って、蓄電部は、再生可能エネルギーが多く得られ、且つ、加熱機構で用いる電力が少ないときに、蓄電しておくことができる。そして、蓄電部は、得られる再生可能エネルギーが少ないタイミングで、蓄電しておいた電力を供給することができる。また、二酸化炭素回収・貯留付火力発電に基づく電力を用いる場合、電力供給部は、当該電力を得やすいタイミング（電力が安いタイミングなど）で蓄電部に蓄電しておき、当該電力を得にくいタイミングにて、蓄電しておいた電力を供給することができる。

10

【0009】

本発明に係る水素供給システムは、水素の供給を行う水素供給システムであって、水素化合物を含む原料を脱水素反応させることによって水素含有ガスを得る脱水素反応部と、熱媒体を用いて脱水素反応部を加熱する加熱機構と、を備え、脱水素反応部は、脱水素反応を行う脱水素触媒が配置されると共に、原料が流通する第1の流路と、第1の流路と並列に設けられると共に、熱媒体が流通する第2の流路と、を有し、加熱機構は、脱水素反応部の第2の流路へ熱媒体を供給する熱媒体供給部と、熱媒体を介して脱水素触媒を加熱する加熱部と、を有する。

20

【0010】

加熱機構は、加熱部を有するため、吸熱反応を行う脱水素触媒に対して熱を供給することができる。ここで、脱水素反応部は、脱水素触媒によって脱水素反応が行われる第1の流路と並列に設けられた第2の流路を有する。加熱機構の熱媒体供給部は、このような第2の流路に熱媒体を供給する。また、加熱機構の加熱部は、熱媒体を介して脱水素触媒を加熱する。加熱機構は、加熱部の熱を熱媒体によって第2の流路内を拡散させ、脱水素触媒を加熱することができる。従って、加熱機構は、脱水素反応部内の加熱の均一性を向上することができる。このように加熱の均一性を向上することで、熱の利用効率が向上するため、エネルギーを有効に利用することができる。その結果、水素を製造するときのCO₂を低減できる。

30

【0011】

加熱部は、第2の流路の内部に設けられてよい。この場合、加熱部が、第1の流路と並列に設けられた第2の流路に設けられる。従って、加熱部の熱は、効率よく脱水素触媒へ伝達される。

40

【0012】

第2の流路は、当該第2の流路が延びる第1の方向において、当該第2の流路内に設けられた仕切部材によって、複数の区画に分割されてよい。このように第2の流路を複数の区画に分割することで、加熱機構は、区画に応じて加熱態様を調整することが可能となる。これにより、熱の利用効率を向上してエネルギーを有効に利用することができる。

【0013】

加熱機構は、前記第2の流路の内部において、複数の区画のそれぞれに対して配置される複数の加熱部を有してよい。複数の加熱部は、それぞれの区画に応じて加熱態様を調整することができる。これにより、熱の利用効率を向上してエネルギーを有効に利用することができる。

50

【 0 0 1 4 】

加熱機構は、複数の区画のそれぞれの温度を検出する複数の温度検出部を備えてよい。複数の温度検出部は、それぞれの区画の温度を検出することができるため、加熱機構は、当該検出結果に基づいて、区画に応じて加熱態様を調整することができる。これにより、熱の利用効率を向上してエネルギーを有効に利用することができる。

【 0 0 1 5 】

仕切部材は、第1の方向と交差する第2の方向における一方の端部側に、第1の方向への熱媒体の流通を許容する開口部を有してよい。この場合、仕切部材で区切られた一方の区画内では、熱媒体が開口部へ向かって第2の方向における一方の端部側へ流れ、当該開口部を介して他方の区画へ流れる。このように、一方の区画内では、第2の方向へ向かう熱媒体の流れが形成されるため、当該区画における熱媒体の滞在時間を長くすることができる。

10

【 0 0 1 6 】

仕切部材は、異なる区画同士の間を塞ぎ、加熱機構は、複数の区画のそれぞれに対して熱媒体を供給する複数の熱媒体供給部を有してよい。複数の熱媒体供給部は、それぞれの区画に応じて熱媒体の供給態様を調整することができる。これにより、熱の利用効率を向上してエネルギーを有効に利用することができる。

【 0 0 1 7 】

本発明に係る水素供給システムは、水素の供給を行う水素供給システムであって、水素化合物を含む原料を脱水素反応させることによって水素含有ガスを得る脱水素反応部と、電力を用いて脱水素反応部を加熱する加熱機構と、加熱機構へ系統電力からの電力を供給する電力供給部と、を備える。

20

【 発明の効果 】

【 0 0 1 8 】

本発明によれば、水素を製造するときのCO₂を低減できる水素供給システムを提供することができる。

【 図面の簡単な説明 】

【 0 0 1 9 】

【 図 1 】 本発明の実施形態に係る水素供給システムの構成を示すブロック図である。

【 図 2 】 加熱機構に電力を供給する電力供給部の構成の一例を示す図である。

30

【 図 3 】 脱水素反応部、及び加熱機構の構成を示す概略構成図である。

【 図 4 】 変形例に係る水素供給システムの脱水素反応部、及び加熱機構の構成を示す概略構成図である。

【 図 5 】 変形例に係る水素供給システムの脱水素反応部、及び加熱機構の構成を示す概略構成図である。

【 図 6 】 加熱部を構成するヒータの配置の一例を示す図である。

【 図 7 】 温度検出部の配置の一例を示す図である。

【 発明を実施するための形態 】

【 0 0 2 0 】

以下、図面を参照しながら、本発明に係る水素供給システムの好適な実施形態について詳細に説明する。以下の説明において、同一又は相当部分には同一符号を付し、重複する説明を省略する。

40

【 0 0 2 1 】

図 1 は、本発明の実施形態に係る水素供給システムの構成を示すブロック図である。水素供給システム 100 は、有機化合物（常温で液体）を原料とするものである。なお、水素精製の過程では、原料である有機化合物（常温で液体）を脱水素した、脱水素生成物（有機化合物（常温で液体））が除去される。原料の有機化合物として、例えば、有機ヒドライドが挙げられる。有機ヒドライドは、製油所で大量に生産されている水素を芳香族炭化水素と反応させた水素化合物が好適な例である。また、有機ヒドライドは、芳香族の水素化合物に限らず、2 - プロパノール（水素とアセトンが生成される）の系もある

50

。有機ハイドライドは、ガソリンなどと同様に液体燃料としてタンクローリーなどによって水素供給システム100へ輸送することができる。本実施形態では有機ハイドライドとして、メチルシクロヘキサン（以下、MCHと称する）を用いる。その他、有機ハイドライドとしてシクロヘキサン、ジメチルシクロヘキサン、エチルシクロヘキサン、デカリン、メチルデカリン、ジメチルデカリン、エチルデカリンなど芳香物炭化水素の水素化物を適用することができる（なお、芳香族化合物は特に水素含有量の多い好適な例である）。水素供給システム100は、燃料電池自動車（FCV）や水素エンジン車に水素を供給することができる。なお、メタンを主成分とした天然ガスやプロパンを主成分としたLPG、あるいはガソリン、ナフサ、灯油、軽油といった液体炭化水素原料から水素を製造する場合にも適用可能である。

10

【0022】

図1に示すように、本実施形態に係る水素供給システム100は、液体移送ポンプ1、熱交換部2、脱水素反応部3、加熱機構20、気液分離部6、圧縮部7、及び水素精製部8を備えている。このうち、液体移送ポンプ1、熱交換部2、及び脱水素反応部3は、水素含有ガスを製造する水素製造部10に属する。また、気液分離部6、圧縮部7、及び水素精製部8は、水素の純度を高める水素純度調整部11に属する。また、水素供給システム100は、ラインL1～L12を備えている。なお、本実施形態では、原料としてMCHを採用し、水素精製の過程で除去される脱水素生成物がトルエンである場合を例として説明する。なお、実際には、トルエンのみならず、未反応のMCHと少量の副生成物及び不純物も存在するが、本実施形態中では、トルエンに混じって当該トルエンと同じ挙動を示す。従って、以下の説明において、「トルエン」と称して説明するものには、未反応のMCHや副生成物も含むものとする。

20

【0023】

ラインL1～L12は、MCH、トルエン、水素含有ガス、オフガス、高純度水素、または加熱媒体が通過する流路である。ラインL1は、液体移送ポンプ1が図示されないMCHタンクからMCHをくみ上げるためのラインであり、液体移送ポンプ1とMCHタンクを接続する。ラインL2は、液体移送ポンプ1と脱水素反応部3とを接続する。ラインL3は、脱水素反応部3と気液分離部6とを接続する。ラインL4は、気液分離部6と図示されないトルエンタンクとを接続する。ラインL5は、気液分離部6と圧縮部7とを接続する。ラインL6は、圧縮部7と水素精製部8とを接続する。ラインL7は、水素精製部8とオフガスの供給先とを接続する。ラインL8は、水素精製部8と図示されない精製ガスの供給装置とを接続する。ラインL11, L12は、加熱機構20のラインであって、熱媒体循環部4と脱水素反応部3とを接続する。ラインL11, L12は、熱媒体を流通させる。

30

【0024】

液体移送ポンプ1は、原料となるMCHを脱水素反応部3へ供給する。なお、外部からタンクローリーなどで輸送されたMCHは、MCHタンクにて貯留される。MCHタンクに貯留されているMCHは、液体移送ポンプ1によってラインL1, L2を介して脱水素反応部3へ供給される。

【0025】

熱交換部2は、ラインL2を流通するMCHとラインL3を流通する水素含有ガスとの間で熱交換を行う。脱水素反応部3から出てきた水素含有ガスの方がMCHよりも高温である。従って、熱交換部2では、水素含有ガスの熱によってMCHが加熱される。これにより、MCHは、温度が上昇した状態で脱水素反応部3へ供給される。なお、MCHは、ラインL7を介して水素精製部8から供給されたオフガスと合わせて、脱水素反応部3へ供給される。

40

【0026】

脱水素反応部3は、MCHを脱水素反応させることによって水素を得る機器である。すなわち、脱水素反応部3は、脱水素触媒を用いた脱水素反応によってMCHから水素を取り出す機器である。脱水素触媒は、特に制限されないが、例えば、白金触媒、パラジウム

50

触媒及びニッケル触媒から選ばれる。これら触媒は、アルミナ、シリカ及びチタニア等の担体上に担持されていてもよい。有機ハイドライドの反応は可逆反応であり、反応条件（温度、圧力）によって反応の方向が変わる（化学平衡の制約を受ける）。一方、脱水素反応は、常に吸熱反応で分子数が増える反応である。従って、高温、低圧の条件が有利である。脱水素反応は吸熱反応であるため、脱水素反応部 3 は熱媒体循環部 4 からライン L 1 1, L 1 2 を循環する熱媒体を介して熱を供給される。脱水素反応部 3 は、脱水素触媒中を流れる M C H と熱媒体循環部 4 からの熱媒体との間で熱交換可能な機構を有している。脱水素反応部 3 で取り出された水素含有ガスは、ライン L 3 を介して気液分離部 6 へ供給される。ライン L 3 の水素含有ガスは、液体であるトルエンを混合物として含んだ状態で、気液分離部 6 へ供給される。

10

【 0 0 2 7 】

加熱機構 2 0 は、熱媒体循環部 4 によって熱媒体をライン L 1 1 を介して脱水素反応部 3 へ供給する。また、加熱機構 2 0 は、循環する熱媒体を加熱することで、脱水素反応部 3 を加熱する。加熱後の熱媒体は、ライン L 1 2 を介して熱媒体循環部 4 に戻される。熱媒体は特に限定されないが、オイルなどが採用されてよい。加熱機構 2 0 の詳細な構成については、後述する。

【 0 0 2 8 】

気液分離部 6 は、水素含有ガスからトルエンを分離するタンクである。気液分離部 6 は、混合物としてトルエンを含む水素含有ガスを貯留することによって、気体である水素と液体であるトルエンとを気液分離する。また、気液分離部 6 に供給される水素含有ガスは、熱交換部 2 で冷却される。なお、気液分離部 6 は、冷熱源からの冷却媒体によって冷却されてよい。この場合、気液分離部 6 は、気液分離部 6 中の水素含有ガスと冷熱源からの冷却媒体との間で熱交換可能な機構を有している。気液分離部 6 で分離されたトルエンは、ライン L 4 を介して後述のトルエン地下タンク 2 3（貯留部）へ供給される。トルエン地下タンク 2 3 については後述する。気液分離部 6 で分離された水素含有ガスは、圧縮部 7 の圧力によりライン L 5, L 6 を介して水素精製部 8 へ供給される。なお、水素含有ガスを冷やすと当該ガスの一部（トルエン）は液化し、気液分離部 6 によって、液化しないガス（水素）と分離することができる。ガスを低温とした方が、分離の効率は良くなり、圧力を上げると更に、トルエンの液化が進む。

20

【 0 0 2 9 】

水素精製部 8 は、脱水素反応部 3 で得られると共に気液分離部 6 で気液分離された水素含有ガスから、脱水素生成物（本実施形態ではトルエン）を除去する。これによって、水素精製部 8 は、当該水素含有ガスを精製して高純度水素（精製ガス）を得る。得られた精製ガスは、ライン L 8 へ供給される。なお、水素精製部 8 で生じたオフガスは、ライン L 7 を介して脱水素反応部 3 へ供給される。

30

【 0 0 3 0 】

水素精製部 8 は、採用する水素精製方法によって異なるが、具体的には、水素精製方法として膜分離を用いる場合には、水素分離膜を備える水素分離装置であり、P S A（P r e s s u r e s w i n g a d s o r p t i o n）法又はT S A（T e m p e r a t u r e s w i n g a d s o r p t i o n）法を用いる場合には、不純物を吸着する吸着材を格納する吸着塔を複数備えた吸着除去装置である。

40

【 0 0 3 1 】

水素精製部 8 が膜分離を用いる場合について説明する。この方法では、所定温度に加熱された膜に、圧縮部（不図示）によって所定圧力に加圧された水素含有ガスを透過させることによって、脱水素生成物を除去し、高純度の水素ガス（精製ガス）を得ることができる。膜を透過した透過ガスの圧力は、膜を透過する前の圧力と比べて低下する。一方、膜を透過しなかった非透過ガスの圧力は、膜を透過する前の所定圧力と略同一である。このとき、膜を透過しなかった非透過ガスが、水素精製部 8 のオフガスに該当する。

【 0 0 3 2 】

水素精製部 8 に適用される膜の種類は特に限定されず、多孔質膜（分子流によって分離

50

するもの、表面拡散流によって分離するもの、毛管凝縮作用によって分離するもの、分子ふるい作用によって分離するものなど)や、非多孔質膜を適用することができる。水素精製部 8 に適用される膜として、例えば、金属膜 (P b A g 系、P d C u 系、N b 系など)、ゼオライト膜、無機膜 (シリカ膜、カーボン膜など)、高分子膜 (ポリイミド膜など)を採用することができる。

【 0 0 3 3 】

水素精製部 8 の除去方法として、P S A 法を採用する場合について説明する。P S A 法で用いられる吸着材は、高圧下では水素含有ガスに含まれるトルエンを吸着し、低圧下では吸着したトルエンを脱着する性質を持つ。P S A 法は、吸着材のこのような性質を利用するものである。すなわち、吸着塔内を高圧にすることにより、水素含有ガスに含まれるトルエンを吸着材に吸着させて除去し、高純度の水素ガス (精製ガス) を得る。吸着により吸着塔内の吸着材の吸着機能が低下した場合には、吸着塔内を低圧にすることにより、吸着材に吸着したトルエンを脱着し、併せて除去した精製ガスの一部を逆流させることにより当該脱着されたトルエンを吸着塔内から除去することで、吸着材の吸着機能を再生する (このとき、トルエンを吸着塔内から除去することで排出される少なくとも水素とトルエンを含む水素含有ガスが、水素精製部 8 からのオフガスに該当する)。

10

【 0 0 3 4 】

水素精製部 8 の除去方法として、T S A 法を採用する場合について説明する。T S A 法で用いられる吸着材は、常温下では水素含有ガスに含まれるトルエンを吸着し、高温下では吸着したトルエンを脱着する性質を持つ。T S A 法は、吸着材のこのような性質を利用するものである。すなわち、吸着塔内を常温にすることにより、水素含有ガスに含まれるトルエンを吸着材に吸着させて除去し、高純度の水素ガス (高純度水素) を得る。吸着により吸着塔内の吸着材の吸着機能が低下した場合には、吸着塔内を高温にすることにより、吸着材に吸着したトルエンを脱着し、併せて除去した高純度水素の一部を逆流させることにより当該脱着されたトルエンを吸着塔内から除去することで、吸着材の吸着機能を再生する (このとき、トルエンを吸着塔内から除去することで排出される少なくとも水素とトルエンを含む水素含有ガスが、水素精製部 8 からのオフガスに該当する)。

20

【 0 0 3 5 】

続いて、上述した水素供給システム 1 0 0 の特徴的な部分について説明する。

【 0 0 3 6 】

図 2 は、加熱機構 2 0 に電力を供給する電力供給部 3 0 の構成の一例を示す図である。図 3 は、加熱機構 2 0 の一例を示す概念図である。図 3 に示すように、加熱機構 2 0 は、電気ヒータを有しているため、電力を用いて脱水素反応部 3 を加熱することができる。従って、図 2 に示すように、水素供給システム 1 0 0 は、加熱機構 2 0 へ電力を供給する電力供給部 3 0 を備える。

30

【 0 0 3 7 】

図 2 (a) に示す電力供給部 3 0 は、系統電力を効率よく用いることができるシステムである。電力供給部 3 0 は、電力源 3 1 A と、蓄電池 3 3 (蓄電部) と、ライン L 2 1 と、ライン L 2 2 と、を備える。電力源 3 1 A は、電力市場からの系統電力を供給する。電力源 3 1 A は、C C S (C a r b o n D i o x i d e C a p t u r e a n d S t o r a g e : 二酸化炭素回収・貯留) 付火力発電による電力を供給することができる。C C S 付火力発電は、排出された二酸化炭素を大気中に出さずに回収して地下などに貯留する技術を用いた火力発電である。従って、C C S 付火力発電は、通常の火力発電に比して C O ₂ の発生を抑制することができる。ライン L 2 1 は、電力源 3 1 A と蓄電池 3 3 とを接続するラインである。電力源 3 1 A は、ライン L 2 1 を介して電力を蓄電池 3 3 に供給する。なお、ライン L 2 1 には、受電盤 3 2 及び P C S 3 4 が設けられている。従って、電力源 3 1 A からの電力は、受電盤 3 2 で調整されて、P C S 3 4 で交流から直流に変換されて、蓄電池 3 3 へ供給される。ライン L 2 2 は、蓄電池 3 3 と加熱機構 2 0 とを接続するラインである。蓄電池 3 3 は、ライン L 2 2 を介して電力を加熱機構 2 0 に供給する。なお、ライン L 2 2 は、P C S 3 4 に接続される。従って、蓄電池 3 3 からの電力は、P

40

50

ＣＳ３４で直流から交流に変換されて、加熱機構２０へ供給される。例えば、電力供給部３０は、電力市場での電力単価の安い時には、電力源３１Ａからの電力を蓄電池３３にて蓄電すると共に、加熱機構２０で用いる。そして、電力単価が高いときには、電力供給部３０は、蓄電池３３から放電して電力を加熱機構２０へ供給する。なお、系統電力による電力源３１Ａからも再生可能エネルギーを供給可能である。また、系統電力による電力源３１Ａは、ＣＣＳ付火力発電や再生可能エネルギーに基づく電力に限定されず、様々な発電方法に基づく電力を供給可能であってよい。また、電力供給部３０は、受電盤３２から直接加熱機構２０へ電力を供給してもよい。

【００３８】

図２（ｂ）に示す電力供給部３０は、再生可能エネルギーに基づく電力を供給することができるシステムである。電力供給部３０は、電力源３１Ｂと、蓄電池３３（蓄電部）と、ラインＬ２１と、ラインＬ２２と、を備える。電力源３１Ｂは、再生可能エネルギーに基づく電力を供給する。再生可能エネルギーとは、自然界の力を利用して得られるエネルギーであり、再生可能エネルギーによる発電方式として、太陽光発電、水力発電、風力発電、波力発電、潮力発電、地熱発電などが挙げられる。再生可能エネルギーを用いた場合、加熱機構２０は、化石燃料を燃焼させてエネルギーを得る場合と異なり、二酸化炭素を排出することなく、あるいは排出量を抑制した状態で、水素を製造することができる。電力源３１Ｂは、ラインＬ２１を介して電力を蓄電池３３に供給する。なお、ラインＬ２１には、電力源３１Ｂから供給された直後の電力を調整するＰＣＳ３４Ａと、蓄電池３３へ供給される直前の電力を調整するＰＣＳ３４Ｂが設けられている。従って、電力源３１Ａからの電力は、ＰＣＳ３４Ａで直流から交流に変換され、ＰＣＳ３４Ｂで交流から直流に変換されて、蓄電池３３へ供給される。蓄電池３３は、ラインＬ２２を介して電力を加熱機構２０に供給する。なお、ラインＬ２２は、ＰＣＳ３４Ｂに接続される。従って、蓄電池３３からの電力は、ＰＣＳ３４Ｂで直流から交流に変換されて、加熱機構２０へ供給される。再生可能エネルギーに基づく電力は環境に依存して変動がある。例えば、太陽光発電は、天気に依存するため、加熱機構２０による加熱が必要なタイミングで、必ずしも必要な電力が得られるとは限らない。従って、電力供給部３０は、多く電力が得られるタイミングでは、電力源３１Ｂからの電力を蓄電池３３にて蓄電すると共に、加熱機構２０で用いる。そして、電力源３１Ｂからの電力が不足するときには、電力供給部３０は、蓄電池３３から放電して加熱機構２０へ電力を供給する。なお、電力供給部３０は、系統電力による電力源３１Ａと再生可能エネルギーによる電力源３１Ｂを両方備えて、両者を使い分けてもよい。

【００３９】

次に、図３を参照して、加熱機構２０の具体的な構成について詳細に説明する。図３は、本実施形態に係る脱水素反応部３、及び加熱機構２０の構成を示す概略構成図である。図３に示すように、脱水素反応部３は、円筒状の脱水素反応容器４０を有する。脱水素反応容器４０は、ヘッダ部４１、４２と、ＭＣＨ流路４３（第１の流路）と、熱媒体流路４６（第２の流路）と、を備える。ＭＣＨ流路４３は、脱水素反応を行う脱水素触媒４４が配置されると共に、ＭＣＨが流通する流路である。ＭＣＨ流路４３は、複数の管状部材を互いに離間させた状態で並列に並べることによって構成される（例えば、図６及び図７参照）。ヘッダ部４１は、複数の管状部材で構成されるＭＣＨ流路４３の入口側の端部に設けられる。ヘッダ部４１は、ラインＬ２に接続され、当該ラインＬ２から供給されたＭＣＨを内部空間で分散させる。これにより、ヘッダ部４１は、それぞれのＭＣＨ流路４３へＭＣＨを分配する。ヘッダ部４１は、複数の管状部材で構成されるＭＣＨ流路４３の出口側の端部に設けられる。ヘッダ部４２は、それぞれのＭＣＨ流路４３からの水素含有ガスを内部空間で集約し、ラインＬ３へ供給する。

【００４０】

熱媒体流路４６は、ＭＣＨ流路４３と並列に設けられると共に、熱媒体が流通する流路である。熱媒体流路４６は、脱水素反応容器４０の外周壁部の内部に形成される。脱水素反応容器４０の外周壁部は、全てのＭＣＨ流路４３を外周側から取り囲む。これにより、

脱水素反応容器 40 の外周壁部よりも内側であって、MCH 流路 43 の外側の空間が、熱媒体流路 46 として構成される（例えば、図 6 及び図 7 参照）。なお、図 3 ~ 図 7 において、熱媒体が存在する箇所には、ドット模様が付されている。

【0041】

加熱機構 20 は、熱媒体供給部 25 と、加熱部 21 と、を備える。熱媒体供給部 25 は、上述の熱媒体循環部 4 と、ライン L11, L12 と、を備えて構成される。熱媒体循環部 4 は熱媒体を圧送するポンプによって構成される。本実施形態では、供給側のライン L11 は、熱媒体流路 46 のうち、ヘッダ部 42 側の端部に設けられている。回収側のライン L12 は、熱媒体流路 46 のうち、ヘッダ部 41 側の端部に設けられている。従って、熱媒体は、MCH 流路 43 内の流体の流れとは反対側へ向かって、すなわち対向流をなすように、熱媒体流路 46 を流れる。

10

【0042】

ライン L12 には、熱媒体槽 22 が設けられる。そして、当該熱媒体槽 22 には、加熱部 21 が設けられる。加熱部 21 は、熱媒体を介して脱水素触媒 44 を加熱する。本実施形態では、加熱部 21 は、電力供給部 30 から供給された電力によって発熱するヒータによって構成される。当該構成により、熱媒体は、熱媒体槽 22 で加熱部 21 によって加熱され、ライン L11 を介して熱媒体流路 46 へ供給される。

【0043】

ここで、熱媒体流路 46 は、当該熱媒体流路 46 が延びる上下方向（第 1 の方向）において、当該熱媒体流路 46 内に設けられた仕切部材 50 によって、複数の区画に分割される。なお、本実施形態では、上下方向は、脱水素反応容器 40 が延びる軸方向に相当し、MCH 流路 43 が延びる方向にも対応する。また、本実施形態では、脱水素反応容器 40 の軸方向が上下方向と平行になるように配置されているが、軸方向が水平方向となるように配置されてもよい。脱水素反応容器 40 は、上下方向に互いに離間するように配置された複数の仕切部材 50 を有する。仕切部材 50 は、上下方向と交差（ここでは直交）する水平方向（第 2 の方向）に広がる部材である。本実施形態では、仕切部材 50 として、バッフル 51, 52 が設けられる。バッフル 51 は、水平方向における一方の端部側に、上下方向への熱媒体の流通を許容する開口部 51a を有する。バッフル 52 は、水平方向における開口部 51a とは反対側に、開口部 52a を有する。バッフル 51 とバッフル 52 とは、上下方向において互い違いに配置される。従って、熱媒体流路 46 を流れる熱媒体は、バッフル 51 の開口部 51a とバッフル 52 の開口部 52a を蛇行するように流れて行く。バッフル 51 とバッフル 52 とで挟まれる各区画内では、熱媒体は、バッフル 51, 52 に沿って水平方向へ流れる。

20

30

【0044】

次に、本実施形態に係る水素供給システム 100 の作用・効果について説明する。

【0045】

水素供給システム 100 は、電力を用いて脱水素反応部 3 を加熱する加熱機構 20 を備える。この加熱機構 20 へ電力を供給する電力供給部 30 は、加熱機構 20 へ再生可能エネルギーに基づく電力、及び二酸化炭素回収・貯留付火力発電に基づく電力の少なくとも一方を供給することができる（図 2 (a) (b) 参照）。これにより、加熱機構 20 は、再生可能エネルギーに基づく電力、及び二酸化炭素回収・貯留付火力発電に基づく電力の少なくとも一方によって、脱水素反応部 3 を加熱することができる。水素供給システム 100 は、再生可能エネルギーを用いることにより、化石燃料を用いることなく、又は化石燃料を低減した状態で、水素を製造することができる。また、水素供給システム 100 は、CCS 付火力発電を用いることにより、電力を得るときの CO₂ を低減できる。以上により、水素を製造するときの CO₂ を低減できる。また、加熱機構 20 が化石燃料を燃焼させて脱水素反応部 3 を加熱する場合、化石燃料を貯留するタンクが必要となる。これに対し、本実施形態に係る水素供給システム 100 では、化石燃料タンクを不要（あるいは小型化）とすることができる。

40

【0046】

50

電力供給部 30 は、再生可能エネルギーに基づく電力、及び二酸化炭素回収・貯留付火力発電に基づく電力の少なくとも一方を蓄電する蓄電池 33 を備えてよい。再生可能エネルギーに基づく電力は、化石燃料によるエネルギーとは異なり、使用者の意図に従った出力を得にくい場合がある。例えば、太陽光発電、風力発電、及び水力発電などは、天候や自然の状態に左右される。これに対し、電力供給部 30 は、電力を蓄電する蓄電池 33 を備える。従って、蓄電池 33 は、再生可能エネルギーが多く得られ、且つ、加熱機構 20 で用いる電力が少ないときに、蓄電しておくことができる。そして、蓄電池 33 は、得られる再生可能エネルギーが少ないタイミングで、蓄電しておいた電力を供給することができる。また、CCS 付火力発電に基づく電力を用いる場合、電力供給部 30 は、当該電力を得やすいタイミング（電力が安いタイミングなど）で蓄電池 33 に蓄電しておき、当該電力を得にくいタイミングにて、蓄電しておいた電力を供給することができる。

10

【0047】

加熱機構 20 は、加熱部 21 を有するため、吸熱反応を行う脱水素触媒 44 に対して熱を供給することができる。ここで、脱水素反応部 3 は、脱水素触媒 44 によって脱水素反応が行われる MCH 流路 43 と並列に設けられた熱媒体流路 46 を有する。加熱機構 20 の熱媒体供給部 25 は、このような熱媒体流路 46 に熱媒体を供給する。また、加熱機構 20 の加熱部 21 は、熱媒体を介して脱水素触媒を加熱する。加熱機構 20 は、加熱部 21 の熱を熱媒体によって熱媒体流路 46 内で拡散させ、脱水素触媒 44 を加熱することができる。従って、加熱機構 20 は、脱水素反応部 3 内の加熱の均一性を向上することができる。このように加熱の均一性を向上することで、熱の利用効率が向上するため、エネルギーを有効に利用することができる。その結果、水素を製造するときの CO₂ を低減できる。

20

【0048】

熱媒体流路 46 は、当該熱媒体流路 46 が延びる上下方向において、当該熱媒体流路 46 内に設けられた仕切部材 50 によって、複数の区画に分割されてよい。このように熱媒体流路 46 を複数の区画に分割することで、加熱機構 20 は、区画に応じて加熱態様を調整することが可能となる。本実施形態では、バッフル 51, 52 によって、各区画における熱媒体の流れる向きや滞在時間を調整している。これにより、熱の利用効率を向上してエネルギーを有効に利用することができる。

【0049】

仕切部材 50 を構成するバッフル 51 は、水平方向における一方の端部側に、上下方向への熱媒体の流通を許容する開口部 51a を有する。また、仕切部材 50 を構成するバッフル 52 は、水平方向における他方の端部側に、上下方向への熱媒体の流通を許容する開口部 52a を有する。この場合、バッフル 51 で区切られた上流側の区画内では、熱媒体が開口部 51a へ向かって水平方向における一方の端部側へ流れ、開口部 51a を介して下流側の区画へ流れる。このように、バッフル 51 の上流側の区画内では、水平方向へ向かう熱媒体の流れが形成されるため、当該区画における熱媒体の滞在時間を長くすることができる。また、バッフル 51 の下流側の区画内では、開口部 52a へ向かって熱媒体が流れるため、当該区画における熱媒体の滞在時間を長くすることができる。

30

【0050】

なお、脱水素反応は吸熱反応であるため、MCH 流路 43 の入口側の部分、中間部分、及び出口側の部分において、互いに吸熱量が異なる。ここでは、入口側の部分の吸熱量が大きくなる。例えば、熱媒体を入口側から供給した場合、入口側の脱水素触媒 44 は十分に加熱できるが、熱媒体の熱量が減少して、出口側の脱水素触媒 44 の加熱が不十分になる可能性がある。これに対し、本実施形態では、加熱機構 20 は、出口側から熱媒体を供給し、MCH 流路 43 の流体に対して対向流とすることで、上述の様な熱量の不足を回避し、転化率を向上することができる。なお、熱媒温度は例えば 300 ~ 340 とすることが好ましい。

40

【0051】

本発明は、上述の実施形態に限定されない。

50

【 0 0 5 2 】

例えば、図 4 に示す加熱機構 2 0 及び脱水素反応部 3 を採用してもよい。図 4 に示す変形例においては、加熱機構 2 0 が、熱媒体流路 4 6 の内部において、複数（ここでは三つ）の区画 E 1 , E 2 , E 3 のそれぞれに対して配置される複数の加熱部 2 1 A , 2 1 B , 2 1 C を有している。ここでは、熱媒体供給部 2 5 は、熱媒体流路 4 6 に対して、ヘッダ部 4 1 側から熱媒体を供給し、ヘッダ部 4 2 側から熱媒体を回収している。熱媒体流路 4 6 には、ヘッダ部 4 1 側から順に、一つ目のバッフル 5 1、一つ目のバッフル 5 2、二つ目のバッフル 5 1、及び二つ目のバッフル 5 2 が設けられている。このうち、入口側の区画 E 1 は、一つ目のバッフル 5 1 と一つ目のバッフル 5 2 との間に形成される。中間部分の区画 E 2 は、一つ目のバッフル 5 2 と二つ目のバッフル 5 1 との間に形成される。出口側の区画 E 3 は、二つ目のバッフル 5 1 と二つ目のバッフル 5 2 との間に形成される。

10

【 0 0 5 3 】

ここで、熱媒体流路 4 6 内に設けられる加熱部 2 1 (2 1 A , 2 1 B , 2 1 C) のヒータは、熱媒体流路 4 6 の水平方向の温度分布が均一になるように配置される。例えば、図 6 に示すような配置が採用されてよい。例えば、図 6 (a) に示すように、M C H 流路 4 3 が所定の列をなすように配置されている場合、加熱部 2 1 のヒータを M C H 流路 4 3 の列と列の間のそれぞれの隙間に配置してよい。また、図 6 (b) に示すように、複数列に一本の割合で、加熱部 2 1 のヒータを配置してもよい。また、図 6 (c) に示すように、加熱部 2 1 のヒータを一回折り返すようにして、M C H 流路 4 3 の列の間を張り巡らしてもよい。また、図 6 (d) に示すように、加熱部 2 1 のヒータを複数回折り返すように配置してもよい。

20

【 0 0 5 4 】

また、加熱機構 2 0 は、複数の区画 E 1 , E 2 , E 3 のそれぞれの温度を検出する複数の温度検出部を備えてよい。具体的には、図 7 に示すように、区画 E 1 , E 2 , E 3 のそれぞれに対して、熱媒体流路 4 6 内に温度検出部 5 6 が配置されている。温度検出部 5 6 として、例えば熱電対などが採用される。また、図 7 (a) (b) (c) に示すように、温度検出部 5 6 は、熱媒体の偏流を確認できるように、水平方向において互いに間隔をあけるように配置される。

【 0 0 5 5 】

以上のように、加熱部 2 1 は、熱媒体流路 4 6 の内部に設けられている。この場合、加熱部 2 1 が、M C H 流路 4 3 と並列に設けられた熱媒体流路 4 6 に設けられる。従って、加熱部 2 1 の熱は、効率よく脱水素触媒 4 4 へ伝達される。

30

【 0 0 5 6 】

また、加熱機構 2 0 は、熱媒体流路 4 6 の内部において、複数の区画 E 1 , E 2 , E 3 のそれぞれに対して配置される複数の加熱部 2 1 A , 2 1 B , 2 1 C を有する。複数の加熱部 2 1 A , 2 1 B , 2 1 C は、それぞれの区画 E 1 , E 2 , E 3 に応じて加熱態様を調整することができる。これにより、熱の利用効率を向上してエネルギーを有効に利用することができる。

【 0 0 5 7 】

加熱機構 2 0 は、複数の区画 E 1 , E 2 , E 3 のそれぞれの温度を検出する複数の温度検出部 5 6 を備える。複数の温度検出部 5 6 は、それぞれの区画 E 1 , E 2 , E 3 の温度を検出することができるため、加熱機構 2 0 は、当該検出結果に基づいて、区画 E 1 , E 2 , E 3 に応じて加熱態様を調整することができる。これにより、熱の利用効率を向上してエネルギーを有効に利用することができる。前述のように、入口側の区画 E 1 の脱水素触媒 4 4 の吸熱量が大きいため、区画 E 1 での熱の不足が生じた場合、加熱部 2 1 は、温度検出部 5 6 にて当該状況を把握し、出力を上げる。

40

【 0 0 5 8 】

また、図 5 に示す加熱機構 2 0 及び脱水素反応部 3 を採用してもよい。図 5 に示す変形例においては、仕切部材 5 0 を構成するバッフル 5 3 は、異なる区画 E 1 , E 2 , E 3 同士の間を塞いでいる。また、加熱機構 2 0 は、複数の区画 E 1 , E 2 , E 3 のそれぞれに

50

対して熱媒体を供給する複数の熱媒体供給部 2 5 A , 2 5 B , 2 5 C を有している。なお、加熱機構 2 0 は、熱媒体流路 4 6 の内部において、複数の区画 E 1 , E 2 , E 3 のそれぞれに対して配置される複数の加熱部 2 1 A , 2 1 B , 2 1 C を有している。熱媒体流路 4 6 には、ヘッダ部 4 1 側から順に、一つ目のバッフル 5 1、一つ目のバッフル 5 3、二つ目のバッフル 5 1、二つ目のバッフル 5 3、及び三つ目のバッフル 5 1 が設けられている。このうち、入口側の区画 E 1 は、ヘッダ部 4 1 と一つ目のバッフル 5 3 との間に形成される。中間部分の区画 E 2 は、一つ目のバッフル 5 3 と二つ目のバッフル 5 3 との間に形成される。出口側の区画 E 3 は、二つ目のバッフル 5 3 とヘッダ部 4 2 との間に形成される。なお、各区画 E 1 , E 2 , E 2 において、熱媒体供給部 2 5 A , 2 5 B , 2 5 C は、バッフル 5 1 の上側から熱媒体を供給し、バッフル 5 1 の下側から熱媒体を回収する。

10

【 0 0 5 9 】

以上のように、仕切部材 5 0 を構成するバッフル 5 3 は、異なる区画 E 1 , E 2 , E 3 同士の間を塞ぎ、加熱機構 2 0 は、複数の区画 E 1 , E 2 , E 3 のそれぞれに対して熱媒体を供給する複数の熱媒体供給部 2 5 A , 2 5 B , 2 5 C を有する。複数の熱媒体供給部 2 5 A , 2 5 B , 2 5 C は、それぞれの区画 E 1 , E 2 , E 3 の温度検出部 5 6 の検出結果に応じて熱媒体の供給態様を調整することができる。これにより、熱の利用効率を向上してエネルギーを有効に利用することができる。

【 0 0 6 0 】

なお、図 3 ~ 図 5 に示すように、加熱機構 2 0 は、熱媒体を脱水素反応部 3 に供給することで、脱水素触媒 4 4 を加熱していた。これに代えて、あるいはこれに加えて、加熱機構 2 0 は、脱水素反応部 3 の上流側のライン L 2 にて、M C H を加熱してもよい。例えば、ライン L 2 には、加熱機構 2 0 からの熱媒体と M C H との間で熱交換を行う熱交換部がもうけられてよい。

20

【 0 0 6 1 】

水素供給システムは、水素の供給を行う水素供給システムであって、水素化物を含む原料を脱水素反応させることによって水素含有ガスを得る脱水素反応部と、電力を用いて脱水素反応部を加熱する加熱機構と、加熱機構へ系統電力からの電力を供給する電力供給部と、を備えてよい。

【 0 0 6 2 】

その他、上記実施形態では、水素供給システムとして F V C のための水素ステーションを例示したが、例えば家庭用電源や非常用電源などの分散電源のための水素供給システムであってもよい。

30

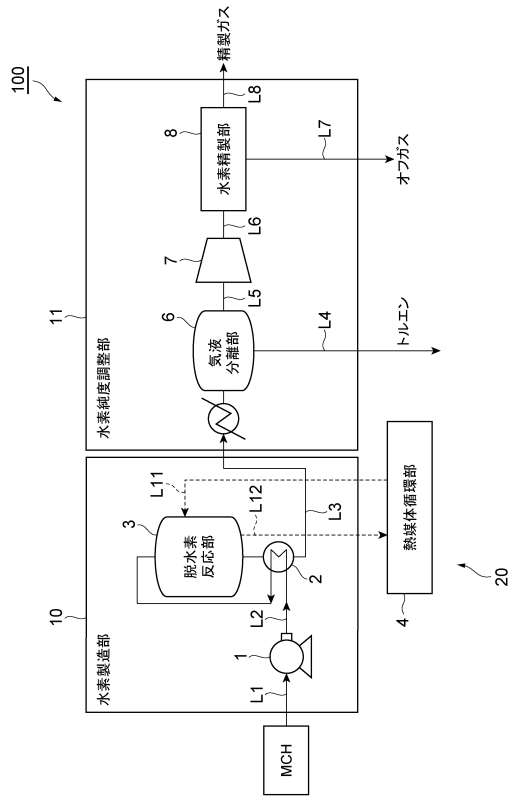
【 符号の説明 】

【 0 0 6 3 】

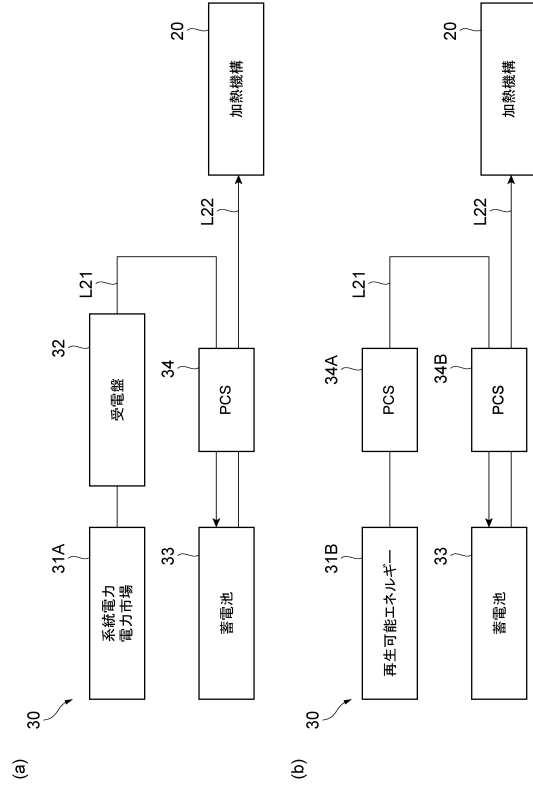
3 ... 脱水素反応部、2 0 ... 加熱機構、2 1 , 2 1 A , 2 1 B , 2 1 C ... 加熱部、2 5 , 2 5 A , 2 5 B , 2 5 C ... 熱媒体供給部、3 0 ... 電力供給部、3 3 ... 蓄電池 (蓄電部)、4 3 ... M C H 流路 (第 1 の流路)、4 4 ... 脱水素触媒、4 6 ... 熱媒体流路 (第 2 の流路)、5 0 ... 仕切部材、5 1 , 5 2 , 5 3 ... バッフル (仕切部材)、5 6 ... 温度検出部、1 0 0 ... 水素供給システム。

40

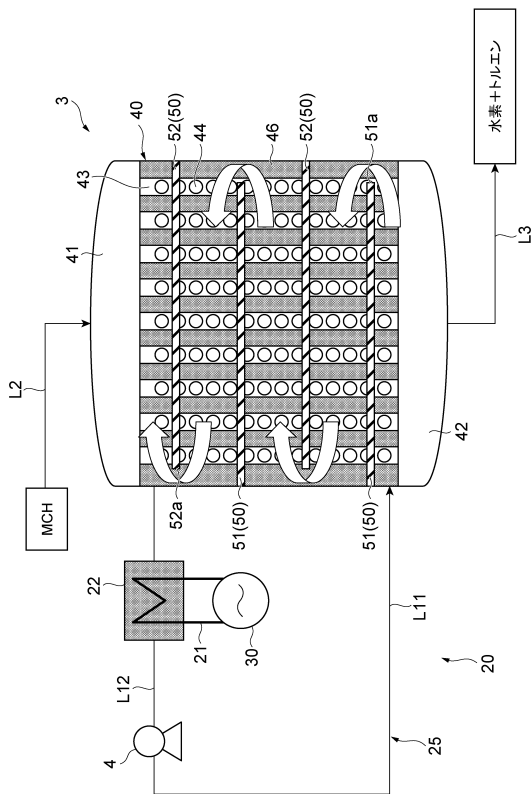
【図面】
【図 1】



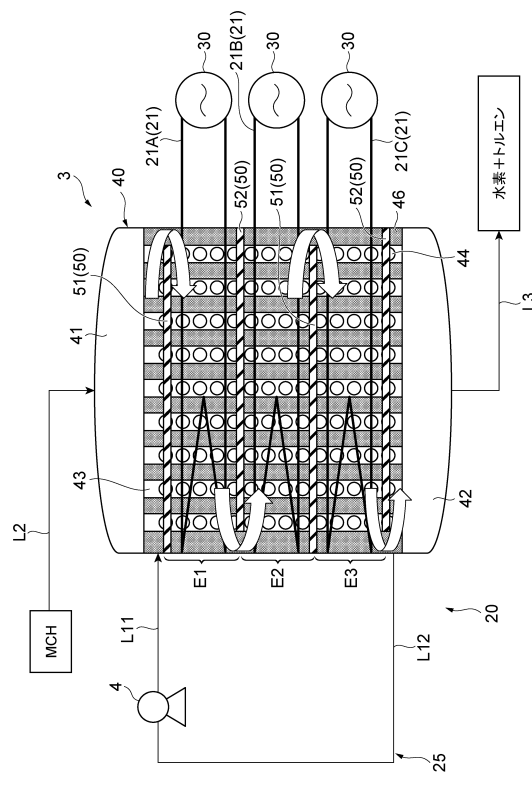
【図 2】



【図 3】



【図 4】



フロントページの続き

J X T G エネルギー株式会社内

(72)発明者 壺岐 英

東京都千代田区大手町一丁目1番2号 J X T G エネルギー株式会社内

(72)発明者 前田 征児

東京都千代田区大手町一丁目1番2号 J X T G エネルギー株式会社内

審査官 末松 佳記

(56)参考文献 特開2019-204585(JP,A)

特開2018-118892(JP,A)

特開2011-251916(JP,A)

(58)調査した分野 (Int.Cl., DB名)

C01B 3/00-6/34

C07B 31/00-61/00

C07B 63/00-63/04

C07C 1/00-409/44

H01M 8/04-8/0668