

明 細 書

発明の名称： 反応システム

技術分野

[0001] 本開示は、反応システムに関する。

背景技術

[0002] 二酸化炭素は、地球温暖化の原因として問題視されており、世界的に二酸化炭素の排出を抑制する動きが活発化している。大気中への二酸化炭素の排出量を削減し、二酸化炭素を有効に利用する方法として、排出ガス中の二酸化炭素からメタンを製造するメタネーション技術及び各種炭化水素を合成するF T（フィッシャーートロプシュ）合成技術などが知られている。メタネーション及びF T合成の反応は発熱反応である。そのため、メタネーションの反応熱を有効利用する動きが広がっている。

[0003] 特許文献1には、水素と二酸化炭素を原料ガスとするメタンガス合成装置と、メタンガス合成装置の原料ガス導入路及び生成ガス送出路に設けられた温度スイング吸着式ガス精製装置とを備える熱利用型ガス精製システムが開示されている。当該システムでは、温度スイング吸着式ガス精製装置に導入される高温再生ガスにメタンガス合成装置の反応熱が付与される。

先行技術文献

特許文献

[0004] 特許文献1：特開2019-052224号公報

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0005] 従来技術によれば、温度スイング吸着式ガス精製装置に導入される高温再生ガスにメタンガス合成装置の反応熱を利用するため、エネルギー効率を改善することができる。しかしながら、エネルギー効率のさらなる改善が期待されている。

[0006] そこで、本開示は、エネルギー効率の高い反応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

[0007] 本開示に係る反応システムは、吸収法又は吸着法によって二酸化炭素を回収する二酸化炭素回収部と、水素及び二酸化炭素を含む原料から炭化水素を生成する反応部と、炭化水素を蒸留する蒸留部とを備える。反応システムでは、反応部で炭化水素を生成して生じた反応熱によって蒸留部で炭化水素が蒸留され、蒸留部で反応熱の一部が消費されて蒸留部に導入された熱媒体である高温熱媒体よりも低い温度となった低温熱媒体によって二酸化炭素回収部で吸収又は吸着された二酸化炭素が分離される。

[0008] 蒸留部は反応部で生成された炭化水素を蒸留してもよい。

[0009] 原料に含まれる二酸化炭素は二酸化炭素回収部で回収された二酸化炭素を含んでもよい。

[0010] 二酸化炭素回収部は、二酸化炭素を吸収液に吸収する吸収部と、吸収液に吸収された二酸化炭素を吸収液から分離する分離部とを含み、分離部は低温熱媒体によって二酸化炭素を分離してもよい。

[0011] 反応部は固定床反応器を含んでもよい。

[0012] 蒸留部は常圧蒸留部及び減圧蒸留部の少なくともいずれか一方を含み、反応熱によって常圧蒸留部及び減圧蒸留部の少なくともいずれか一方に導入された炭化水素を蒸留してもよい。

発明の効果

[0013] 本開示によれば、エネルギー効率の高い反応システムを提供することができる。

図面の簡単な説明

[0014] [図1]図1は、一実施形態に係る反応システムを示す概略図である。

[図2]図2は、一実施形態に係る反応システムの熱媒流路を示す概略図である。

[図3]図3は、一実施形態に係る反応システムの熱媒流路を示す概略図である。

発明を実施するための形態

- [0015] 以下、いくつかの例示的な実施形態について、図面を参照して説明する。
なお、図面の寸法比率は説明の都合上誇張されており、実際の比率とは異なる場合がある。
- [0016] 図1に示すように、本実施形態に係る反応システム1は、二酸化炭素発生源10と、二酸化炭素回収部20と、二酸化炭素供給部30と、水素供給部35と、反応部40と、蒸留部50とを備えている。
- [0017] 二酸化炭素発生源10は、例えば、燃料が燃焼されることによって二酸化炭素を排出する発電所及び工場などである。二酸化炭素発生源10はボイラを含んでいてもよい。
- [0018] 二酸化炭素回収部20は、二酸化炭素発生源10から発生した二酸化炭素を回収する。二酸化炭素回収部20は、二酸化炭素発生源10から発生した二酸化炭素を回収することにより、大気中に放出される二酸化炭素の量を低減することができる。
- [0019] 二酸化炭素回収部20は化学吸収法により二酸化炭素を回収してもよい。二酸化炭素回収部20は、図1に示すように、吸収部21と、分離部22と、供給配管23と、還流配管24と、熱交換器25と、リボイラ26と、冷却部28と、気液分離部29とを含んでいてもよい。供給配管23は、吸収部21の下部と、分離部22の上部とを接続する。還流配管24は、分離部22の下部と、吸収部21の上部とを接続する。供給配管23及び還流配管24には、熱交換器25が設けられる。
- [0020] 吸収部21は二酸化炭素を吸収液に吸収する。具体的には、吸収部21は、二酸化炭素を含有するガスと吸収液との気液接触によって二酸化炭素を吸収する。本実施形態において、吸収部21は吸収塔である。分離部22は、吸収液に吸収された二酸化炭素を吸収液から分離する。本実施形態において、分離部22は放散塔である。吸収液はアルカリ性溶液であってもよい。吸収液は、具体的には、アルカノールアミン及びアルコール性水酸基を有するヒンダードアミンの少なくともいずれか一方を含んでいてもよい。吸収液は

、より具体的には、モノエタノールアミン（MEA）を含んでいてもよい。

[0021] 吸収部21の下方から供給された二酸化炭素を含有するガスは、吸収液と気液接触し、ガスに含まれる二酸化炭素が吸収液に吸収される。二酸化炭素を吸収した吸収液は、供給配管23を通じ、熱交換器25によって加熱された後、分離部22の上方へ送られる。熱交換器25によって加熱された吸収液は、分離部22の上方から二酸化炭素を放散しながら滴り落ち、分離部22の底部に滞留する。分離部22の底部に滞留する吸収液はリボイラ26によって加熱され、吸収液から二酸化炭素が放散される。放散された二酸化炭素を含むガスは、分離部22の天頂に設けられたガス排出口から排出される。

[0022] 一方、分離部22の底部に滞留する吸収液は、還流配管24を通じ、熱交換器25で冷却された後、吸収部21の上部へ送られる。この際、供給配管23を通る吸収液と還流配管24を通る吸収液の熱とが熱交換され、供給配管23を通る吸収液が加熱され、還流配管24を通る吸収液が冷却される。吸収部21の充填材より上方から供給された吸収液は、二酸化炭素発生源10から供給された二酸化炭素を含有するガスと気液接触し、二酸化炭素が再び吸収液に吸収される。吸収部21内で二酸化炭素が除去されたガスは、吸収部21の天頂に設けられたガス排出口から排出される。

[0023] 分離部22のガス排出口と反応部40とは、配管27を介して接続されている。配管27には、冷却部28と、気液分離部29と、二酸化炭素供給部30とが設けられている。分離部22のガス排出口から排出された二酸化炭素を含むガスは、配管27を通して冷却部28によって冷却され、ガスに含まれる水分及び吸収液が凝縮される。凝縮された水等は、気液分離部29において分離され、図示しない配管を通じて分離部22に戻される。二酸化炭素回収部20から分離されるガスは、例えば質量比で90%以上、95%以上又は99%以上の二酸化炭素を含有する。二酸化炭素供給部30は、流量調節部31と、圧縮機32と、流量調節部33とを含んでいる。

[0024] 流量調節部31は、配管27において、冷却部28及び気液分離部29の

下流に設けられている。流量調節部 3 1 は、配管 2 7 を流れるガスの流量を調節する。

[0025] 圧縮機 3 2 はガスを圧縮する。圧縮機 3 2 によって圧縮されるガスは、二酸化炭素回収部 2 0 から分離された二酸化炭素を含んでいる。圧縮機 3 2 は、吸入口と吐出口とを有しており、吸入口から吸い込まれたガスは圧縮されて吐出口から吐出される。

[0026] 流量調節部 3 3 は、圧縮機 3 2 で圧縮されたガスの流量を調節する。流量調節部 3 3 は、圧縮機 3 2 で圧縮され、反応部 4 0 へ供給されるガスの流量を調節する。流量調節部 3 3 は、マスフローコントローラーを含んでもよい。

[0027] 水素供給部 3 5 は反応部 4 0 に水素を供給する。水素供給部 3 5 は水素を反応部 4 0 に供給することができれば特に限定されないが、太陽光、風力及び水力などの再生可能エネルギーを利用し、水を電気分解して得られたものを使用してもよい。このような水素を用いることにより、反応システム 1 全体として、二酸化炭素の排出量を低減することができる。

[0028] 反応部 4 0 には、水素及び二酸化炭素を含む原料が供給される。本実施形態において原料に含まれる二酸化炭素は、二酸化炭素回収部 2 0 で回収された二酸化炭素を含んでいる。これにより、二酸化炭素回収部 2 0 と反応部 4 0 とが一体となった反応システム 1 を提供することができる。ただし、反応部 4 0 は、二酸化炭素回収部 2 0 とは独立し、二酸化炭素回収部 2 0 を介さない二酸化炭素を原料として用いてもよい。反応部 4 0 に供給される原料は、図示しない加熱部によって加熱されてもよい。反応部 4 0 に供給される二酸化炭素に対する水素の量の比は、適宜設定することができるが、例えばモル比で 1 以上であってもよく、2 以上であってもよく、3 以上であってもよく、3.5 以上であってもよく、4 以上であってもよい。また、反応部 4 0 に供給される二酸化炭素に対する水素の量の比は、例えばモル比で 8 未満であってもよく、6 未満であってもよく、5 未満であってもよく、4.5 未満であってもよい。なお、メタネーション反応の場合、反応部 4 0 に供給され

る二酸化炭素に対する水素の量の比は、量論比である4であってもよい。

- [0029] 反応部40は、水素及び二酸化炭素を含む原料から炭化水素を生成する。反応部40で炭化水素を生成することにより、二酸化炭素の排出を抑制するだけでなく、二酸化炭素を有効利用することができる。
- [0030] 炭化水素は、アルカン及びアルケンの少なくともいずれか一方を含んでいてもよい。これらの炭化水素は、メタネーション反応又はフィッシャーートロプシュ（F T）反応によって生成することができる。アルカン及びアルケンの少なくともいずれか一方は、炭素数が1から100の炭化水素を含んでいてもよい。例えば、アルカン及びアルケンの少なくともいずれか一方は、炭素数が1から4の炭化水素を含んでいてもよい。炭素数が1から4のアルカンとしては、例えば、メタン、エタン、プロパン及びブタンが挙げられる。炭素数が1から4のアルケンとしては、例えば、エチレン、プロピレン、1-ブテン、2-ブテン、イソブテン及び1, 3-ブタジエンが挙げられる。なお、これらの中でも、メタン、エタン及びプロパンは、都市ガスの燃料とすることができる。また、炭素数が2以上4以下のアルケンは、プラスチックの原料にもなるため有用である。なお、反応生成物は、上記以外の化合物を含んでいてもよい。
- [0031] 反応部40は、固定床反応器を含んでいてもよい。固定床反応器は構造が比較的単純であるため、簡易な構成の反応システム1を提供することができる。固定床反応器は、単管式反応器であってもよく、シェルアンドチューブ型反応器のような多管式反応器であってもよい。固定床反応器は、反応管と、反応管を収容するシェルとを含んでいてもよい。シェル内の反応管の外側に冷却媒体としての熱媒体を通過させることにより、反応部40で炭化水素を生成して生じた反応熱を奪い取ることができる。反応管内には触媒が配置されていてもよい。これにより、原料が反応管内を通過し、原料が触媒と接触することにより、原料に含まれる二酸化炭素と水素とが反応して炭化水素が生成される。
- [0032] 触媒は、生成する炭化水素の種類の観点から選択され、例えば鉄触媒又は

コバルト触媒などの公知の触媒を使用することができる。鉄触媒の場合は軽質炭化水素を主に生成することができ、コバルト触媒の場合はワックスを含む重質炭化水素を主に生成することができる。また、鉄触媒の場合はアルケン及びアルカンを主として生成することができ、コバルト触媒の場合はアルカンを主として生成することができる。なお、鉄触媒は活性成分として鉄を含む触媒であり、コバルト触媒は活性成分としてコバルトを含む触媒である。反応部40での反応条件は特に限定されないが、例えば、反応温度が200℃～500℃であり、圧力が0.3MPaG～3MPaGである。

[0033] 反応部40と蒸留部50の常圧蒸留塔53とは配管41を介して接続されている。配管41には、冷却部42と、気液分離部43と、加熱部52とが設けられている。冷却部42は、反応部40で生成された反応生成物を冷却する。これにより、反応部40で生成された反応生成物の一部を凝縮させることができる。気液分離部43は、冷却部42によって凝縮せずに気体のまま残った低沸点反応生成物と、冷却部42によって凝縮し、低沸点反応物よりも沸点の高い高沸点反応生成物とを分離する。低沸点反応生成物は、例えばメタンを含んでいてもよい。低沸点反応生成物は、エタン、プロパン及びブタンなどを含んでいてもよい。また、高沸点反応生成物は、沸点の異なる複数種の反応生成物を含んでいる。高沸点反応生成物は、C5～C100のいずれか2種以上の炭化水素を含んでいてもよい。例えば、高沸点反応生成物は、C5～C15の炭化水素を含んでいてもよい。C5～15の液体炭化水素は、航空燃料として利用することができる。高沸点反応生成物は、蒸留部50に供給されてもよい。

[0034] 蒸留部50は、反応部40で生成された炭化水素を蒸留する。これにより、反応部40と蒸留部50とが一体となった反応システム1を提供することができる。ただし、蒸留部50は、反応部40とは独立し、反応部40で生成されていない炭化水素を蒸留してもよい。蒸留部50は、沸点の異なる炭化水素の混合物を、沸点差を利用して分離する。反応部40によって生成された反応物は、水素化精製、水素異性化及び水素化分解などのような水素化

処理によって処理されてもよい。蒸留部50は常圧蒸留部51及び減圧蒸留部54を含んでいる。

[0035] 常圧蒸留部51は、加熱部52と、常圧蒸留塔53とを含んでいる。加熱部52は、配管41に設けられ、常圧蒸留塔53に導入される炭化水素の混合物を加熱する。加熱後の混合物の温度は、例えば300℃～400℃であってもよい。常圧蒸留塔53は、加熱部52で加熱された炭化水素の混合物を蒸留する。常圧蒸留塔53は、複数の棚段を含んでおり、各棚段から液体成分を抜き出すことで炭素数に応じた炭化水素を分離することができる。

[0036] 常圧蒸留部51は、例えば0.5 atm～2 atm程度のような常圧下で沸点の異なる炭化水素の混合物を蒸留する。常圧蒸留部51では、蒸留により、ナフサ、灯油、軽油、及び残油などの各留分に分離することができる。ナフサは、例えばC4～C12の炭化水素を含んでいてもよい。C4～C12の炭化水素の沸点は、例えば35℃～180℃である。灯油は、例えばC12～C18の炭化水素を含んでいてもよい。C12～C18の炭化水素の沸点は、例えば170℃～250℃である。軽油は、例えばC14～C23の炭化水素を含んでいてもよい。C14～C23の炭化水素の沸点は、例えば240℃～350℃である。残油は、精留されずに残った炭化水素であり、例えばC17以上の炭化水素を含んでいてもよい。C17以上の炭化水素の沸点は、例えば350℃以上である。

[0037] 減圧蒸留部54は、加熱部55と、減圧蒸留塔56と、図示しない減圧部とを含んでいる。常圧蒸留塔53と減圧蒸留塔56とは、配管57を介して接続されている。常圧蒸留塔53で蒸留された残油（常圧残油）は、配管57を介して減圧蒸留塔56に導入される。配管57には、加熱部55が設けられている。加熱部55は、常圧残油を加熱する。加熱後の混合物の温度は、例えば300℃～400℃であってもよい。減圧蒸留塔56は、加熱部55で加熱された常圧残油を減圧下で蒸留する。減圧蒸留塔56は、複数の棚段を含んでおり、各棚段から液体成分を抜き出すことで炭素数に応じた炭化水素を分離することができる。図示しない減圧部は、減圧蒸留塔56内の気

体を排出し、減圧蒸留塔56内を減圧する。減圧部は、例えば真空ポンプを含んでいてもよい。

[0038] 減圧蒸留部54は、例えば0.01atm~0.2atm程度のような減圧下で常圧残油を蒸留する。減圧蒸留部54では、蒸留により、減圧軽油及び減圧残油などの各留分に分離することができる。減圧軽油は、例えば沸点が350℃~550℃の炭化水素を含んでいてもよい。減圧残油は、精留されずに残った炭化水素であり、例えば沸点が550℃超の炭化水素を含んでいてもよい。

[0039] 本実施形態においては、反応部40で炭化水素を生成して生じた反応熱によって蒸留部50で炭化水素が蒸留される。そして、蒸留部50で反応熱の一部が消費されて蒸留部50に導入された熱媒体である高温熱媒体よりも低い温度となった低温熱媒体によって二酸化炭素回収部20で吸収された二酸化炭素が分離される。

[0040] 反応熱は、熱媒流路60内を通る熱媒体を介して授受される。熱媒流路60は、二酸化炭素回収部20と、反応部40と、蒸留部50とを接続している。具体的には、熱媒流路60は、二酸化炭素回収部20のリボイラ26と、反応部40と、蒸留部50の加熱部52と、蒸留部50の加熱部55とを接続している。

[0041] 反応部40では、炭化水素を生成して生じた反応熱と、熱媒体の熱とが交換される。これにより、熱媒体は反応熱を奪い取って加熱され、反応部40の原料又は生成物は冷却される。水素及び二酸化炭素を含む原料から炭化水素を生成する反応は発熱反応である。そのため、炭化水素を生成して生じた反応熱を熱媒体によって奪うことにより、炭化水素の反応を有利に進めることができる。

[0042] 反応熱による熱媒体の加熱は、反応部40内で実施されてもよい。例えば、反応部40がシェルアンドチューブ型反応器を含む場合、シェル内の反応管の外側に熱媒体を通過させることにより、熱媒体を加熱してもよい。また、冷却部42には反応熱を有する反応生成物が通過するため、冷却部42に

熱媒体を通過させることにより、熱媒体を加熱してもよい。反応熱によって加熱された高温熱媒体は、蒸留部50に導入される。

[0043] 蒸留部50では、高温熱媒体の熱と、蒸留部50に導入された炭化水素の熱とが交換される。そして、高温熱媒体により、蒸留部50で炭化水素が蒸留される。これにより、反応熱を蒸留に利用することができるため、蒸留に必要なエネルギーを低減することができる。熱媒体は、常圧蒸留部51及び減圧蒸留部54の少なくともいずれか一方に供給されればよい。すなわち、熱媒体は、常圧蒸留部51又は減圧蒸留部54のいずれか一方に供給されてもよく、常圧蒸留部51及び減圧蒸留部54の両方に供給されてもよい。本実施形態では、熱媒流路60において、加熱部52と加熱部55とは並列に設けられている。反応部40から移送された熱媒体は、分岐して加熱部52及び加熱部55に供給される。加熱部52及び加熱部55で反応熱の一部が消費された低温熱媒体は、合流して二酸化炭素回収部20のリボイラ26に導入される。

[0044] 二酸化炭素回収部20では、低温熱媒体の熱と、吸収液の熱とが交換される。これにより、リボイラ26において、吸収液が加熱される。そのため、吸収液に吸収された二酸化炭素の分離が促進される。また、低温熱媒体は冷却され、反応部40に導入される。

[0045] 熱媒体は、蒸気又はオイルなど、公知の熱媒体を使用することができる。熱媒体としてオイルを用いた場合、比較的扱いが容易であり、装置構成を簡易にすることができる。また、熱媒体として蒸気を用いた場合、熱や酸化によって蒸気は劣化しにくく、コストを低減することができる。

[0046] なお、図2に示すように、本実施形態では、熱媒流路60が二酸化炭素回収部20と反応部40と蒸留部50とを接続し、共通する熱媒体が二酸化炭素回収部20と反応部40と蒸留部50とを循環する例について説明した。しかしながら、熱媒流路60はこのような例に限定されず、熱媒流路60内に異なる熱媒体を通過させてもよい。

[0047] 例えば、図3に示すように、熱媒流路60は、第1循環流路61と、第2

循環流路 6 2 と、第 3 循環流路 6 3 とを含んでいてもよい。また、反応システム 1 は、第 1 熱交換器 6 4 と、第 2 熱交換器 6 5 とを備えていてもよい。第 1 循環流路 6 1 は、反応部 4 0 と第 1 熱交換器 6 4 とを接続する。第 1 循環流路 6 1 内には第 1 熱媒体が流れており、第 1 熱媒体は反応部 4 0 と第 1 熱交換器 6 4 とを循環する。第 2 循環流路 6 2 は、蒸留部 5 0 と、第 1 熱交換器 6 4 と第 2 熱交換器 6 5 とを接続する。第 2 循環流路 6 2 内には第 2 熱媒体が流れており、第 2 熱媒体は蒸留部 5 0 と第 2 熱交換器 6 5 と第 1 熱交換器 6 4 とをこの順番で循環する。第 3 循環流路 6 3 は、二酸化炭素回収部 2 0 のリボイラ 2 6 と第 2 熱交換器 6 5 とを接続する。第 3 循環流路 6 3 内には第 3 熱媒体が流れており、第 3 熱媒体は二酸化炭素回収部 2 0 のリボイラ 2 6 と第 2 熱交換器 6 5 とを循環する。

[0048] 第 1 熱媒体は、反応部 4 0 で炭化水素を生成して生じた反応熱によって加熱される。第 1 熱媒体と第 2 熱媒体とは第 1 熱交換器 6 4 で熱交換され、第 2 熱媒体が加熱される。第 1 熱交換器 6 4 で加熱された第 2 熱媒体は、高温熱媒体として蒸留部 5 0 に供給され、蒸留部 5 0 で炭化水素が蒸留される。第 2 熱媒体は蒸留部 5 0 から第 2 熱交換器 6 5 へ移送され、蒸留部 5 0 で反応熱の一部が消費された熱媒体と第 3 熱媒体とが熱交換される。第 2 熱交換器 6 5 において加熱された第 3 熱媒体（低温熱媒体）は、二酸化炭素回収部 2 0 のリボイラ 2 6 に導入され、二酸化炭素回収部 2 0 で吸収された二酸化炭素が分離される。一方、第 2 熱交換器 6 5 で冷却された第 2 熱媒体は、第 1 熱交換器 6 4 に供給され、上述のように第 1 熱交換器 6 4 で第 1 熱媒体によって加熱される。

[0049] 第 1 熱媒体、第 2 熱媒体、及び第 3 熱媒体は、それぞれ同じ熱媒体であってもよく、異なる熱媒体であってもよい。また、第 1 循環流路 6 1 及び第 2 循環流路 6 2 に代え、反応部 4 0 と蒸留部 5 0 とを接続する第 4 循環流路を用いてもよい。この場合、第 2 熱交換器 6 5 により、第 3 循環流路 6 3 内の熱媒体と、第 4 循環流路内の熱媒体とが熱交換される。同様に、第 2 循環流路 6 2 及び第 3 循環流路 6 3 に代え、蒸留部 5 0 と二酸化炭素回収部 2 0 と

を接続する第5循環流路を用いてもよい。この場合、第1熱交換器64により、第1循環流路61内の熱媒体と、第5循環流路内の熱媒体とが熱交換される。

[0050] 以上のような構成であっても、反応部40で炭化水素を生成して生じた反応熱により、蒸留部50で炭化水素が蒸留され、蒸留部50で反応熱の一部が消費される。そして、蒸留部50で反応熱の一部が消費されて蒸留部50に導入された熱媒体である高温熱媒体よりも低い温度となった低温熱媒体によって二酸化炭素回収部20で吸収又は吸着された二酸化炭素が分離される。

[0051] なお、本実施形態では、二酸化炭素回収部20が化学吸収法によって二酸化炭素を回収する例について説明した。具体的には、二酸化炭素回収部20は、二酸化炭素を吸収液に吸収する吸収部21と、吸収液に吸収された二酸化炭素を吸収液から分離する分離部22とを含み、分離部22は低温熱媒体によって二酸化炭素を分離する例について説明した。これにより、大容量の二酸化炭素を回収することができる。しかしながら、二酸化炭素回収部20は、固体吸収法又は物理吸着法によって二酸化炭素を回収してもよい。固体吸収法では固体吸収材を用いて二酸化炭素を回収する。物理吸着法では固体吸着材を用いて二酸化炭素を回収する。

[0052] 固体吸収法で二酸化炭素を回収する場合、二酸化炭素回収部20は、吸収部と、分離部とを含んでもよい。吸収部には、二酸化炭素発生源10から二酸化炭素が供給される。そして、吸収部内を低温状態にし、二酸化炭素と固体吸収材とを接触させることにより、固体吸収材に二酸化炭素を吸収させることができる。二酸化炭素が吸収された固体吸収材は分離部に移送され、固体吸収材に吸収された二酸化炭素は分離部を高温状態にすることにより分離される。なお、二酸化炭素回収部20は、吸収部と分離部とを別々に備えるのではなく、二酸化炭素を吸収及び分離する吸収分離部を備えていてもよい。吸収分離部内を低温状態にし、二酸化炭素と固体吸収材とを接触させることにより、固体吸収材に二酸化炭素を吸収させることができる。また、

吸収分離部内を高温状態にすることにより、固体吸収材に吸収された二酸化炭素を分離することができる。

[0053] 固体吸収材は、塩基性物質が表面に担持された多孔質体、及び、表面が塩基で修飾された多孔質体の少なくともいずれか一方を含んでもよい。このような材料は、比表面積が大きく、塩基の二酸化炭素に対する反応性が高いことから、多くの二酸化炭素を吸収することが可能となる。多孔質体は、ゼオライト、アルミナ、シリカ、樹脂、粘土及び活性炭からなる群より選択される少なくとも1つを含んでもよい。また、塩基性物質は、第1級アミン化合物、第2級アミン化合物及び第3級アミン化合物からなる群より選択される少なくとも1種のアミン化合物を含んでもよい。また、多孔質体の表面を修飾する塩基は、アミノ基であってもよい。これらの材料は、多孔質体を上述したアミン化合物に浸漬後、乾燥させ、多孔質体の表面に塩基性物質を担持又は塩基で修飾することにより得ることができる。あるいは、これらの材料は、多孔質体表面とアミン化合物の脱アルコール反応などの化学的な反応を用い、多孔質体を塩基性物質によって修飾することで得ることができる。

[0054] 固体吸収材は、アルカリ金属及びアルカリ土類金属からなる群より選択される少なくとも一種を含んでもよい。これらの材料は、二酸化炭素を効率的に吸収することができる。アルカリ金属を含む吸収材は、アルカリ金属の炭酸塩、及びリチウム遷移金属複合酸化物の少なくともいずれか一方を含んでもよい。アルカリ土類金属を含む吸収材は、アルカリ土類金属の酸化物などを含んでもよい。

[0055] 物理吸着法で二酸化炭素を回収する場合、二酸化炭素回収部20は、吸着部と、脱着部とを含んでもよい。吸着部には、二酸化炭素が供給される。そして、吸着部内を低温状態にし、二酸化炭素と固体吸着材とを接触させることにより、固体吸着材に二酸化炭素を吸着させることができる。二酸化炭素が吸着した固体吸着材は脱着部に移送され、固体吸着材に吸着された二酸化炭素は脱着部を高温状態にすることにより脱着することができる。なお

、二酸化炭素回収部 20 は、吸着部と脱着部とを別々に備えるのではなく、二酸化炭素を吸着及び脱着する吸着脱着部を備えていてもよい。吸着脱着部内を低温状態にし、二酸化炭素と固体吸着材とを接触させることにより、固体吸着材に二酸化炭素を吸着させることができる。また、吸着脱着部内を高温状態にすることにより、固体吸着材に吸着された二酸化炭素を分離することができる。

[0056] 固体吸着材は、多孔質体を含んでいてもよい。多孔質体は、ゼオライト、アルミナ、シリカ、樹脂、粘土及び活性炭からなる群より選択される少なくとも 1 つを含んでいてもよい。

[0057] また、本実施形態では、反応部 40 が固定床反応器を含む例について説明した。しかしながら、反応部 40 は、固定床反応器に加え又は固定床反応器に代え、固定床反応器以外の反応器を含んでいてもよい。例えば、反応部 40 は、固定床反応器、スラリー床反応器、及び流動床反応器からなる群より選択される少なくとも一種の反応器を含んでいてもよい。

[0058] スラリー床反応器は、スラリーを収容している。スラリーは、液体炭化水素と、液体炭化水素内に分散した F T 合成触媒粒子とを含んでいる。そして、二酸化炭素と水素とを含む原料をスラリー内に通気させることにより、炭化水素が生成される。スラリー床反応器によれば、炭素数の多い炭化水素を生成することができる。そのため、蒸留によって軽油及び灯油などの成分を効率よく生成することができる。

[0059] また、本実施形態では、二酸化炭素回収部 20 で回収された二酸化炭素を、反応部 40 の原料とする例について説明した。しかしながら、反応部 40 は、二酸化炭素回収部 20 とは独立し、二酸化炭素回収部 20 を介さない二酸化炭素を原料として用いてもよい。

[0060] また、本実施形態では、反応部 40 で生成された炭化水素を、蒸留部 50 で蒸留する例について説明した。しかしながら、蒸留部 50 は、反応部 40 とは独立し、反応部 40 で生成されていない炭化水素を蒸留してもよい。すなわち、蒸留部 50 に導入される混合物は、原油、F T 合成によって得られ

た反応生成物又はこれらの混合物であってもよい。

- [0061] また、本実施形態では、蒸留部50が常圧蒸留部51及び減圧蒸留部54を含む例について説明した。しかしながら、蒸留部50は、常圧蒸留部51及び減圧蒸留部54の少なくともいずれか一方を含んでいてもよい。この場合、反応熱によって常圧蒸留部51及び減圧蒸留部54の少なくともいずれか一方に導入された炭化水素を蒸留してもよい。これにより、常圧蒸留部51又は減圧蒸留部54において、炭化水素の蒸留を促進することができる。また、蒸留部50は、複数の蒸留塔を含み、それぞれの蒸留塔で炭化水素を蒸留してもよい。例えば、第1蒸留塔でナフサを蒸留し、第2蒸留塔で灯油を蒸留するなどしてもよい。
- [0062] 蒸留に必要とする熱が足りない場合、反応部40で生成されたメタンなど、炭化水素の一部を燃焼して熱媒体を加熱してもよい。生成した炭化水素は二酸化炭素フリーの燃料であり、大気中の二酸化炭素を見かけ上増加させずに運転することができる。
- [0063] 以上説明したように、本実施形態に係る反応システム1は、吸収法又は吸着法によって二酸化炭素を回収する二酸化炭素回収部20と、水素及び二酸化炭素を含む原料から炭化水素を生成する反応部40と、炭化水素を蒸留する蒸留部50とを備えている。本実施形態では、反応部40で炭化水素を生成して生じた反応熱によって蒸留部50で炭化水素が蒸留される。そして、蒸留部50で反応熱の一部が消費されて蒸留部50に導入された熱媒体である高温熱媒体よりも低い温度となった低温熱媒体によって二酸化炭素回収部20で吸収又は吸着された二酸化炭素が分離される。
- [0064] 分離部22に必要な放散温度は例えば100℃～120℃であり、蒸留部50で蒸留に必要な温度である350℃～450℃と比較すると低い温度である。反応熱を二酸化炭素回収部20及び蒸留部50に適した温度で利用することができるため、反応熱を個別に利用した場合と比較し、エネルギー効率を高くすることができる。
- [0065] 特願2022-064383号（出願日：2022年4月8日）の全内容

は、ここに援用される。

[0066] いくつかの実施形態を説明したが、上記開示内容に基づいて実施形態の修正または変形をすることが可能である。上記実施形態のすべての構成要素、及び請求の範囲に記載されたすべての特徴は、それらが互いに矛盾しない限り、個々に抜き出して組み合わせてもよい。

[0067] 本開示は、例えば、国際連合が主導する持続可能な開発目標（SDGs）の目標13『気候変動及びその影響を軽減するための緊急対策を講じる』に貢献することができる。

符号の説明

[0068] 1 反応システム
 20 二酸化炭素回収部
 21 吸収部
 22 分離部
 40 反応部
 50 蒸留部

請求の範囲

- [請求項1] 吸収法又は吸着法によって二酸化炭素を回収する二酸化炭素回収部と、
- 水素及び二酸化炭素を含む原料から炭化水素を生成する反応部と、
- 炭化水素を蒸留する蒸留部と、
- を備え、
- 前記反応部で炭化水素を生成して生じた反応熱によって前記蒸留部で炭化水素が蒸留され、前記蒸留部で前記反応熱の一部が消費されて前記蒸留部に導入された熱媒体である高温熱媒体よりも低い温度となった低温熱媒体によって前記二酸化炭素回収部で吸収又は吸着された二酸化炭素が分離される、反応システム。
- [請求項2] 前記蒸留部は前記反応部で生成された炭化水素を蒸留する、請求項1に記載の反応システム。
- [請求項3] 前記原料に含まれる二酸化炭素は前記二酸化炭素回収部で回収された二酸化炭素を含む、請求項1又は2に記載の反応システム。
- [請求項4] 前記二酸化炭素回収部は、二酸化炭素を吸収液に吸収する吸収部と、前記吸収液に吸収された二酸化炭素を前記吸収液から分離する分離部とを含み、
- 前記分離部は前記低温熱媒体によって二酸化炭素を分離する、請求項1～3のいずれか一項に記載の反応システム。
- [請求項5] 前記反応部は固定床反応器を含む、請求項1～4のいずれか一項に記載の反応システム。
- [請求項6] 前記蒸留部は常圧蒸留部及び減圧蒸留部の少なくともいずれか一方を含み、前記反応熱によって前記常圧蒸留部及び前記減圧蒸留部の少なくともいずれか一方に導入された炭化水素を蒸留する、請求項1～5のいずれか一項に記載の反応システム。