

(12) 特許協力条約に基づいて公開された国際出願

(19) 世界知的所有権機関
国際事務局

(43) 国際公開日
2018年4月26日(26.04.2018)



(10) 国際公開番号
WO 2018/074443 A1

(51) 国際特許分類:
H01M 8/04 (2016.01) *B01D 53/78* (2006.01)
B01D 53/50 (2006.01) *C01B 32/50* (2017.01)
B01D 53/62 (2006.01) *H01M 8/0606* (2016.01)
B01D 53/77 (2006.01)

特願 2017-008409 2017年1月20日(20.01.2017) JP
特願 2017-012938 2017年1月27日(27.01.2017) JP

(71) 出願人: 三菱重工業株式会社 (MITSUBISHI HEAVY INDUSTRIES, LTD.)
[JP/JP]; 〒1088215 東京都港区港南二丁目16番5号 Tokyo (JP).

(21) 国際出願番号: PCT/JP2017/037459

(22) 国際出願日: 2017年10月17日(17.10.2017)

(25) 国際出願の言語: 日本語

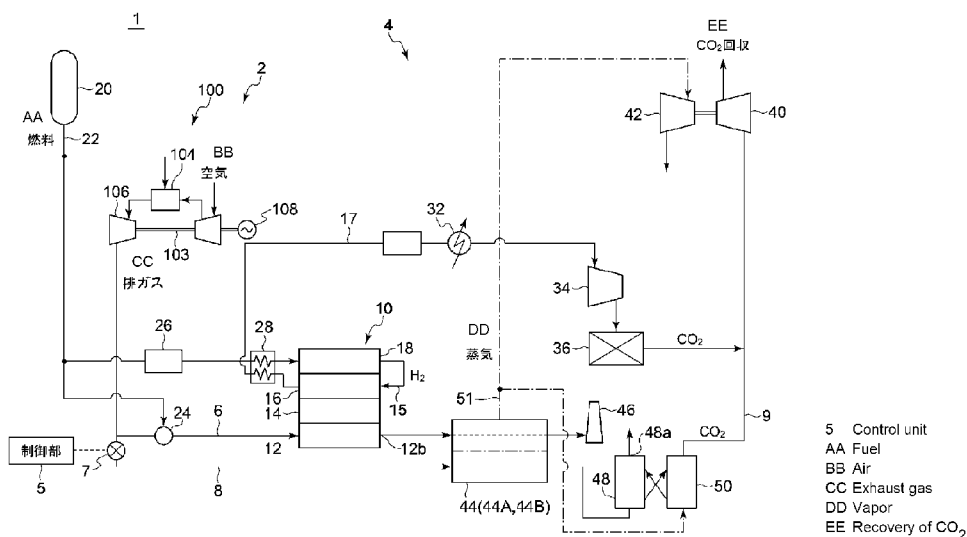
(26) 国際公開の言語: 日本語

(30) 優先権データ:
特願 2016-205074 2016年10月19日(19.10.2016) JP
特願 2016-209767 2016年10月26日(26.10.2016) JP
特願 2017-008408 2017年1月20日(20.01.2017) JP

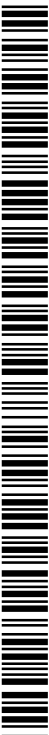
(72) 発明者: 眞竹 徳久 (MATAKE, Norihisa); 〒1088215 東京都港区港南二丁目16番5号 三菱重工業株式会社内 Tokyo (JP). 堀添 浩司 (HORIZOE, Kouji); 〒1088215 東京都港区港南二丁目16番5号 三菱重工業株式会社内 Tokyo (JP). 上地 英之 (UECHI, Hideyuki); 〒1088215 東京都港区港南二丁目16番5号 三菱重工業株式会社内 Tokyo (JP). 末森 重

(54) Title: CARBON DIOXIDE RECOVERY SYSTEM, THERMAL POWER GENERATION FACILITY, AND METHOD FOR RECOVERING CARBON DIOXIDE

(54) 発明の名称: 二酸化炭素回収システム、火力発電設備、及び、二酸化炭素回収方法



(57) Abstract: This carbon dioxide recovery system for recovering carbon dioxide from an exhaust gas that is generated in a facility comprising a combustion device is provided with: a first exhaust gas channel in which the exhaust gas containing the carbon dioxide flows; a fuel cell which comprises an anode, a cathode that is provided on the first exhaust gas channel so that the exhaust gas is supplied thereto from the first exhaust gas channel, and an electrolyte that is configured so as to transfer carbonate ions, which are derived from the carbon dioxide contained in the exhaust gas from the first exhaust gas



WO 2018/074443 A1

徳(SUEMORI, Shigenori); 〒1088215 東京都港区港南二丁目16番5号 三菱重工業株式会社内 Tokyo (JP). 平田 琢也(HIRATA, Takuya); 〒1088215 東京都港区港南二丁目16番5号 三菱重工業株式会社内 Tokyo (JP). 青木 泰高(AOKI, Yasutaka); 〒1088215 東京都港区港南二丁目16番5号 三菱重工業株式会社内 Tokyo (JP). 石黒 達男(ISHIGURO, Tatsuo); 〒1088215 東京都港区港南二丁目16番5号 三菱重工業株式会社内 Tokyo (JP).

(74) 代理人: 誠真 I P 特許業務法人(SEISHIN IP PATENT FIRM, P.C.); 〒1080073 東京都港区三田三丁目13番16号 三田43MTビル13階 Tokyo (JP).

(81) 指定国(表示のない限り、全ての種類の国内保護が可能): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JO, JP, KE, KG, KH, KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.

(84) 指定国(表示のない限り、全ての種類の広域保護が可能): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシア (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), ヨーロッパ (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

添付公開書類:

- 国際調査報告 (条約第21条(3))
- 補正された請求の範囲 (条約第19条(1))

channel, from the cathode to the anode; and a second exhaust gas channel which is branched from the first exhaust gas channel in the upstream of the cathode so as to bypass the cathode. Consequently, this carbon dioxide recovery system is configured such that some of the exhaust gas is led to the second exhaust gas channel.

(57) 要約: 燃焼装置を含む設備で発生した排ガスから二酸化炭素を回収するための二酸化炭素回収システムは、前記二酸化炭素を含む前記排ガスが流れる第1排ガス流路と、アノードと、前記第1排ガス流路上に設けられて前記第1排ガス流路からの前記排ガスが供給されるカソードと、前記第1排ガス流路からの前記排ガス中に含まれる二酸化炭素由来の炭酸イオンを前記カソードから前記アノードに移動させるように構成された電解質と、を含む燃料電池と、前記カソードをバイパスするように、前記カソードの上流側において前記第1排ガス流路から分岐して設けられる第2排ガス流路と、を備え、前記排ガスの一部を前記第2排ガス流路に導くように構成される。

明 細 書

発明の名称：

二酸化炭素回収システム、火力発電設備、及び、二酸化炭素回収方法

技術分野

[0001] 本開示は、二酸化炭素回収システム、火力発電設備、及び、二酸化炭素回収方法に関する。

背景技術

[0002] 石油、天然ガス及び石炭等の炭素含有燃料を燃焼させる際等に発生する二酸化炭素（ CO_2 ）は、地球温暖化に影響を有する温室効果ガスである。そこで、二酸化炭素の大気中への放出を抑制するため、火力発電設備等の排ガスから二酸化炭素を回収するための技術が提案されている。

[0003] 例えば、特許文献1には、熔融炭酸塩型燃料電池を用いてガスタービンからの排ガス中の CO_2 を回収する発電システムが記載されている。この発電システムでは、 CO_2 を含むガスタービンからの排ガスが熔融炭酸塩型燃料電池のカソードに供給され、燃料電池での反応により、排ガス中の CO_2 がカソード側からアノード側に輸送される。そして、 CO_2 及び H_2O を含むアノードアウトプット流から、分離器によって CO_2 が分離されるようになっている。

先行技術文献

特許文献

[0004] 特許文献1：特開2016-511526号公報

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0005] 特許文献1に記載の発電システムでは、ガスタービン等に燃料電池を適用することにより、排ガス中の二酸化炭素を回収しながら発電することができるので、プラント全体としてのエネルギー効率の向上に寄与し得る。一方、燃料電池を安定運転するためには、該燃料電池に適切な流量範囲の排ガスを供給する必要があるため、燃料電池は、ガスタービン等の排ガス発生設備か

らの排ガス流量の変動への対応が困難である。

この点、特許文献1には、排ガス発生設備からの排ガス流量の変動へ対応しながら、排ガスを処理することについては開示されていない。

[0006] 上述の事情に鑑みて、本発明の少なくとも一実施形態は、排ガス流量の変化に対応しつつ、プラント全体としてのエネルギー効率の低下を抑制可能な二酸化炭素回収システム、火力発電設備、及び、二酸化炭素回収方法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] (1) 本発明の少なくとも一実施形態に係る二酸化炭素回収システムは、
燃焼装置を含む設備で発生した排ガスから二酸化炭素を回収するためのシステムであって、

前記二酸化炭素を含む前記排ガスが流れる第1排ガス流路と、

アノードと、前記第1排ガス流路上に設けられて前記第1排ガス流路からの前記排ガスが供給されるカソードと、前記第1排ガス流路からの前記排ガス中に含まれる二酸化炭素由来の炭酸イオンを前記カソードから前記アノードに移動させるように構成された電解質と、を含む燃料電池と、

前記カソードをバイパスするように、前記カソードの上流側において前記第1排ガス流路から分岐して設けられる第2排ガス流路と、を備え、

前記排ガスの一部を前記第2排ガス流路に導くように構成される。

[0008] 上述したように、燃料電池は、二酸化炭素を回収しながら発電することができるので、プラント全体としてのエネルギー効率の向上に寄与し得る一方、排ガス流量の変動への対応が困難である。

この点、上記(1)の構成によれば、第1排ガス流路に燃料電池のカソードを設け、第1排ガス流路から分岐した第2排ガス流路に排ガスの一部を導いて燃料電池(カソード)をバイパスさせるようにしたので、燃焼装置を含む設備からの排ガスのうち、燃料電池で適切に処理可能な範囲の流量を燃料電池に供給するとともに、排ガスのうち残りの部分を、第2排ガス流路に導いて利用したり処理したりすることができる。よって、排ガス発生設備の負

荷変動に伴う排ガス流量の変化に対応しつつ、プラント全体としてのエネルギー効率の低下を抑制しながら二酸化炭素を回収することができる。

[0009] (2) 幾つかの実施形態では、上記(1)の構成において、

前記燃料電池の定格運転時における前記排ガスの処理流量は、前記設備の定格運転時における前記排ガスの全流量よりも小さい。

[0010] 燃焼装置を含む設備の定格負荷時における排ガスの全量を処理可能な燃料電池群を設置すると、前記設備の部分負荷運転時に燃料電池群の安定運転を維持することができず、燃料電池の一部を運転停止(ホットスタンバイ)させる必要が生じる。この場合、運転しない燃料電池の設備コストや、一部の燃料電池の運転停止に伴う発電量の低下に伴う逸失利益を考慮すれば、経済性の面で問題がある。

この点、上記(2)の構成によれば、前記設備の定格負荷時における排ガスの全量を処理するのに必要な容量よりも低容量の定格出力の燃料電池を用いることで、前記設備の部分負荷運転時においても、燃料電池の安定運転を維持したまま排ガス流量の減少に対応しやすくなる。

[0011] (3) 幾つかの実施形態では、上記(1)又は(2)の構成において、

前記燃料電池の定格運転時における前記排ガスの処理流量 F_{FC_RATED} は、前記燃焼装置を含む前記設備の30%負荷での運転時における前記排ガスの全流量を F^*_{min} とし、前記設備の80%負荷での運転時における前記排ガスの全流量を F^*_{max} としたとき、

$$F^*_{min} \leq F_{FC_RATED} \leq F^*_{max}$$

の関係を満たす。

[0012] 燃焼装置を含む設備として代表的なものに火力発電装置がある。火力発電装置の負荷は、系統からの要請により、例えば40%~100%の負荷範囲において変動することがある。この場合、上記(3)の構成のように、上記関係式を満たすように燃料電池の定格運転時における排ガス処理流量 F_{FC_RATED} を設定することで、燃焼装置を含む設備の部分負荷運転時においても、燃料電池の安定運転を維持したまま排ガス流量の減少に対応しやすくなる。

[0013] (4) 幾つかの実施形態では、上記(1)乃至(3)の何れかの構成において、

前記第1排ガス流路を介して前記カソードに供給される前記排ガスの第1流量を調節するための流量調節部をさらに備える。

[0014] 上記(4)の構成によれば、流量調節部によって燃料電池のカソードへの排ガス供給量(第1流量)を調節するようにしたので、排ガスの総流量の変動時においても第1流量を適切に調節することで、燃料電池の適正な運転状態(例えば温度)を維持することができる。また、燃料電池の劣化に起因した電圧低下に伴いアノード-カソード間の電流を減少させる必要が生じた場合、カソードへの排ガス供給量(第1流量)を減少させることで燃料電池を適正温度範囲に維持することができる。

[0015] (5) 幾つかの実施形態では、上記(4)の構成において、

前記流量調節部を制御するための制御部を備え、

前記制御部は、前記燃焼装置を含む前記設備の少なくとも一部の負荷範囲において、前記設備の負荷の大きさによらず、前記第1流量が前記燃料電池の定格流量で一定となるよう前記流量調節部を制御するように構成される。

[0016] 燃焼装置を含む設備の負荷変動に伴い排ガスの全流量が変化すると、燃料電池のカソードへの排ガス供給量(第1流量)もその影響を受けて変化し、燃料電池の安定運転が可能な目標流量範囲から第1流量が逸脱してしまう可能性がある。

この点、上記(5)の構成によれば、少なくとも一部の負荷範囲での前記設備の運転時、前記設備の負荷の大きさによらず第1流量を定格流量で一定に維持することができる。よって、前記設備の負荷が変動しても、燃料電池の安定運転を維持することができる。

[0017] (6) 幾つかの実施形態では、上記(4)又は(5)の構成において、

前記流量調節部は、前記第1排ガス流路又は前記第2排ガス流路に設けられたダンパを含み、

前記第1排ガス流路及び前記第2排ガス流路は、少なくとも前記ダンパの

設置位置の上流側において、互いに独立して設けられる。

[0018] 上記（６）の構成によれば、ダンパの設置位置よりも上流側では、排ガスを燃料電池のカソードに供給するための第１排ガス流路と、燃料電池（カソード）をバイパスする第２排ガス流路と、が互いに独立して設けられる。このため、ダンパの開度調整によって、第１排ガス流路と第２排ガス流路とで排ガスを適切に分配することができる。

[0019] （７）幾つかの実施形態では、上記（１）乃至（６）の何れかの構成において、

前記燃料電池の前記カソードは、前記設備としてのガスタービンの下流側、且つ、前記ガスタービンの排熱を回収するための第１排熱回収ボイラの上流側に設けられ、

前記第２排ガス流路は、前記カソードをバイパスして、前記ガスタービンの排熱を回収するための第２排熱回収ボイラに接続され、

少なくとも前記ガスタービンの定格運転時において、前記ガスタービンの排ガスの一部を前記第２排ガス流路を介して前記第２排熱回収ボイラに導くように構成される。

[0020] 上記（７）の構成によれば、第１排熱回収ボイラを通過する前の比較的高温（例えば６００～６５０度）のガスタービンの排ガスを燃料電池に導くことで、燃料電池を適正温度にて安定運転することができる。また、ガスタービンの排ガスの一部を第２排ガス流路によりカソードをバイパスして第２排熱回収ボイラに直接導くようにしたので、負荷変動に伴い排ガス流量が変化しても、燃料電池の安定運転を維持しやすくなる。

[0021] （８）幾つかの実施形態では、上記（７）の構成において、

前記第２排熱回収ボイラの下流側において前記第２排ガス流路上に設けられ、前記第２排熱回収ボイラからの前記排ガスに含まれる二酸化炭素を吸収液に吸収させるための化学吸収塔をさらに備え、

前記第１排ガス流路及び前記第２排ガス流路は、前記第１排ガス流路を流れる前記排ガスが、前記第１排熱回収ボイラの下流側において、前記第２排

熱回収ボイラから前記化学吸収塔へと前記第2排ガス流路を流れる前記排ガスと混合しないように、互いに独立して設けられる。

[0022] 上記(8)の構成によれば、第2排熱回収ボイラを通過後の比較的低温の排ガスを化学吸収塔に導くことで、化学吸収塔における二酸化炭素の回収効率を向上させることができる。また、第1排ガス流路と第2排ガス流路とを互いに独立して設け、第1排ガス流路におけるカソードを通過後のCO₂欠乏排ガスと、化学吸収塔へと導入される第2排ガス流路におけるCO₂リッチ排ガスとの混合を防止することで、化学吸収塔における二酸化炭素分離効率を向上させることができる。

[0023] (9) 幾つかの実施形態では、上記(7)又は(8)の構成において、前記第1排熱回収ボイラ内において最も上流側に位置する第1熱交換器は、前記第2排熱回収ボイラ内において最も上流側に位置する第2熱交換器よりも高温の熱媒体を熱交換により得るように構成される。

[0024] 燃料電池のカソード通過後の排ガスは、通常、燃料電池における反応熱によりガスタービンからの排ガスよりも高温になる。このため、燃料電池のカソード通過後の排ガスが流入する第1排熱回収ボイラは、カソードをバイパスした排ガスが流入する第2排熱回収ボイラに比べて入口温度が高い。そこで、上記(9)の構成のように、第1排熱回収ボイラの最上流側に位置する第1熱交換器を第2排熱回収ボイラの最上流側の第2熱交換器よりも高温の熱媒体を得るように構成することで、排熱を有効利用してプラント全体としてのエネルギー効率を高めることができる。

[0025] (10) 幾つかの実施形態では、上記(7)乃至(9)の何れかの構成において、

前記第1排ガス流路を介して前記カソードに供給される前記排ガスの第1流量を調節するための流量調節部を備え、

前記第1排熱回収ボイラおよび前記第2排熱回収ボイラは、
共通の煙道と、

前記共通の煙道のうち少なくとも上流側領域を、前記第1排ガス流路を

少なくとも部分的に形成する第 1 部分と、前記第 2 排ガス流路を少なくとも部分的に形成する第 2 部分とに隔てるように前記共通の煙道内に設けられる隔壁と、

を含み、

前記流量調節部は、前記共通の煙道のうち前記第 1 部分又は前記第 2 部分の何れかに設けられるダンパを含む。

[0026] 上記（10）の構成によれば、排熱回収ボイラの煙道にダンパを設けた簡素な構成で、第 1 流量を適切に調節して、第 1 排ガス流路を少なくとも部分的に形成する煙道の第 1 部分、及び、第 2 排ガス流路を少なくとも部分的に形成する煙道の第 2 部分に対して、排ガス流量を適切に分配することができる。

[0027] （11）幾つかの実施形態では、上記（7）乃至（10）の何れかの構成において、

前記第 2 排ガス流路上に設けられ、前記第 2 排ガス流路を流れる前記排ガスに含まれる二酸化炭素を吸収液に吸収させるための化学吸収塔と、

前記第 1 排熱回収ボイラ又は前記第 2 排熱回収ボイラにおいて前記排ガスから回収した熱エネルギーを利用して生成した蒸気により、前記吸収液を加熱して再生するように構成された再生塔と、

をさらに備える。

[0028] 上記（11）の構成によれば、第 2 排熱回収ボイラを通過後の比較的低温の排ガスを化学吸収塔に導くことで、化学吸収塔における二酸化炭素の回収効率を向上させることができる。また、排熱回収ボイラにおいて排ガスから回収した熱エネルギーを利用して生成した蒸気を吸収液の再生に利用するので、プラント全体としてエネルギー効率を向上させることができる。

[0029] （12）幾つかの実施形態では、上記（7）乃至（11）の何れかの構成において、

少なくとも前記燃料電池により前記アノード側に回収された前記二酸化炭素を圧縮するためのコンプレッサと、

前記コンプレッサを駆動するための蒸気タービンをさらに備え、

前記蒸気タービンは、前記第1排熱回収ボイラ又は前記第2排熱回収ボイラにおいて前記排ガスから回収した熱エネルギーを利用して生成した蒸気により駆動されるように構成される。

[0030] 上記(12)の構成によれば、排熱回収ボイラにおいて排ガスから回収した熱エネルギーを利用して生成した蒸気を、燃料電池により回収された二酸化炭素を圧縮するコンプレッサを駆動するための蒸気タービンの動力源として利用するので、プラント全体としてエネルギー効率を向上させることができる。

[0031] (13)幾つかの実施形態では、上記(1)乃至(6)の何れかの構成において、

前記二酸化炭素回収システムは、

前記第2排ガス流路に設けられ、前記第2排ガス流路から供給される前記排ガスに含まれる二酸化炭素を吸収液に吸収させるための化学吸収塔をさらに備える。

[0032] 化学吸収塔を用いたCO₂の回収では、例えば、化学吸収塔内において、吸収液と排ガスとを接触させることで、排ガスに含まれるCO₂が吸収液内に取り込まれる。CO₂を取り込んだアミン吸収液は、吸収液再生塔においてスチームストリッピングにより再生され、この際CO₂が吸収液から分離される。そして、このように吸収液から分離されたCO₂がガスとして回収される。

このような化学吸収塔によるCO₂回収技術は、例えば吸収液の循環量を調節することで排ガス流入量の変動に対応可能である一方、吸収液からCO₂を再生するには多くのエネルギーを必要とし、プラント全体としてのエネルギー効率の低下を招く。これに対し、燃料電池は、CO₂を回収しながら発電することができるので、プラント全体としてのエネルギー効率の低下を抑制できる一方、排ガス流量の変動への対応が困難である。

この点、上記(13)の構成によれば、第1排ガス流路に燃料電池のカソードを設け、第1排ガス流路から分岐した第2排ガス流路に化学吸収塔を設

けることで、燃料電池と化学吸収塔とが並列配置されることになる。このため、排ガスを化学吸収塔と燃料電池とに分配して両者を併用することで、排ガス流量の変動に対応しつつ、プラント全体としてのエネルギー効率の低下を抑制することができる。

[0033] (14) 幾つかの実施形態では、上記(13)の構成において、前記吸収液は、アミンを含むことを特徴とする。

[0034] 上記(14)の構成によれば、二酸化炭素との高い化学反応性を有するアミンを含む吸収液を用いることで、排ガスにおける二酸化炭素の分圧が低い場合であっても、二酸化炭素を効果的に回収できる。

[0035] (15) 幾つかの実施形態では、上記(1)乃至(14)の何れかの構成において、

前記二酸化炭素回収システムは、

前記第1排ガス流路における前記カソードの入口側の前記排ガスと、前記第1排ガス流路における前記カソードの出口側の前記排ガスと、を熱交換するための熱交換器をさらに備える。

[0036] 上記(15)の構成によれば、例えば火力発電装置等からの比較的低温の排ガスであっても、燃料電池で生じる反応熱により高温となったカソード出口側の排ガスとの熱交換によって昇温した後にカソードに供給することができる。これにより、燃料電池で発生した熱エネルギーを有効活用しながら、燃料電池の適正温度を維持して安定運転を行うことができる。

[0037] (16) 幾つかの実施形態では、上記(1)乃至(15)の何れかの構成において、

前記二酸化炭素回収システムは、

前記第1排ガス流路からの前記第2排ガス流路の分岐点の上流側において前記第1排ガス流路に設けられ、前記排ガスに含まれる硫黄分を除去するように構成された脱硫装置をさらに備える。

[0038] 上記(16)の構成によれば、分岐点上流側において第1排ガス流路に脱硫装置(例えば高度脱硫ガス冷却塔)を設けることで、前処理としての脱硫

装置を燃料電池と化学吸収塔とで共有することができる。これにより、脱硫装置の設置コストを削減しながら、排ガス中における硫黄分に起因した燃料電池または化学吸収塔の性能低下を抑制することができる。

[0039] (17) 幾つかの実施形態では、上記(1)乃至(16)の何れかの構成において、

前記二酸化炭素回収システムは、

前記第1排ガス流路からの前記第2排ガス流路の分岐点の下流側且つ前記カソードの上流側において前記第1排ガス流路に設けられ、前記カソードに供給される前記排ガス中の煤塵を除去するための除塵装置をさらに備える。

[0040] 上記(17)の構成によれば、分岐点の下流側かつ燃料電池のカソードの上流側において第1排ガス流路に除塵装置を設けたので、煤塵が除去された排ガスをカソードに供給することができ、排ガス中の煤塵に起因した燃料電池の性能劣化を抑制することができる。

[0041] (18) 本発明の少なくとも一実施形態に係る火力発電設備は、

燃焼装置を含む設備である火力発電装置と、

前記火力発電装置からの排ガスに含まれる二酸化炭素を回収するように構成された前記(1)乃至(17)の何れかの二酸化炭素回収システムと、
を備える。

[0042] 上記(18)の構成によれば、第1排ガス流路に燃料電池のカソードを設け、第1排ガス流路から分岐した第2排ガス流路に排ガスの一部を導いて燃料電池(カソード)をバイパスさせるようにしたので、燃焼装置を含む設備からの排ガスのうち、燃料電池で適切に処理可能な範囲の流量を燃料電池に供給するとともに、排ガスのうち残りの部分を、第2排ガス流路に導いて利用したり処理したりすることができる。よって、排ガス発生設備の負荷変動に伴う排ガス流量の変化に対応しつつ、プラント全体としてのエネルギー効率の低下を抑制しながら二酸化炭素を回収することができる。

[0043] (19) 本発明の少なくとも一実施形態に係る二酸化炭素回収方法は、

燃焼装置を含む設備で発生した排ガスから二酸化炭素を回収するための方

法であって、

前記二酸化炭素を含む前記排ガスを燃料電池のカソードに供給するステップと、

前記燃料電池の電解質内において、前記排ガス中の前記二酸化炭素由来の炭酸イオンを前記カソードから前記燃料電池のアノードに移動させるステップと、

前記設備の前記排ガスの一部が前記カソードをバイパスするように前記排ガスの前記一部を導くステップと、

を備える。

[0044] 上記（１９）の方法によれば、燃焼装置を含む設備からの排ガスの一部を、燃料電池（カソード）をバイパスさせるようにしたので、燃焼装置を含む設備からの排ガスのうち、燃料電池で適切に処理可能な範囲の流量を燃料電池に供給するとともに、排ガスのうち残りの部分を、前記燃料電池とは別に利用したり処理したりすることができる。よって、排ガス発生設備の負荷変動に伴う排ガス流量の変化に対応しつつ、プラント全体としてのエネルギー効率の低下を抑制しながら二酸化炭素を回収することができる。

[0045] （２０）幾つかの実施形態では、上記（１９）の方法において、前記燃料電池の定格運転時における前記排ガスの処理流量は、前記設備の定格運転時における前記排ガスの全流量よりも小さい。

[0046] 上記（２０）の方法によれば、前記設備の定格負荷時における排ガスの全流量を処理するのに必要な容量よりも低容量の定格出力の燃料電池を用いることで、前記設備の部分負荷運転時においても、燃料電池の安定運転を維持したまま排ガス流量の減少に対応しやすくなる。

[0047] （２１）幾つかの実施形態では、上記（１９）又は（２０）の方法において、

前記燃料電池の定格運転時における前記排ガスの処理流量 F_{FC_RATED} は、前記設備としての火力発電装置の３０％負荷での運転時における前記排ガスの全流量を F^*_{min} とし、前記火力発電装置の８０％負荷での運転時における

前記排ガスの全流量を F^*_{max} としたとき、

$$F^*_{min} \leq F_{FC_RATED} \leq F^*_{max}$$

の関係を満たす。

[0048] 燃焼装置を含む設備の一例である火力発電装置の負荷は、系統からの要請により、例えば40%~100%の負荷範囲において変動することがある。この場合、上記(21)の構成のように、上記関係式を満たすように燃料電池の定格運転時における排ガス処理流量 F_{FC_RATED} を設定することで、燃焼装置を含む設備の部分負荷運転時においても、燃料電池の安定運転を維持したまま排ガス流量の減少に対応しやすくなる。

[0049] (22) 幾つかの実施形態では、上記(19)乃至(21)の何れかの方法において、

前記設備の少なくとも一部の負荷範囲において、前記設備の負荷の大きさによらず、前記カソードに供給される前記排ガスの第1流量を前記燃料電池の定格流量で一定となるように維持するステップをさらに備える。

[0050] 燃焼装置を含む設備の負荷変動に伴い排ガスの全流量が変化すると、燃料電池のカソードへの排ガス供給量(第1流量)もその影響を受けて変化し、燃料電池の安定運転が可能な目標流量範囲から第1流量が逸脱してしまう可能性がある。

この点、上記(22)の方法によれば、少なくとも一部の負荷範囲での前記設備の運転時、前記設備の負荷の大きさによらず第1流量を定格流量で一定に維持することができる。よって、前記設備の負荷が変動しても、燃料電池の安定運転を維持することができる。

[0051] (23) 幾つかの実施形態では、上記(19)乃至(22)の方法において、

前記設備としてのガスタービンからの排ガスのうち前記燃料電池のカソードを通過した第1排ガスを第1排熱回収ボイラに導き、該第1排熱回収ボイラにおいて排熱を回収するステップと、

少なくとも前記ガスタービンの定格運転時において、前記ガスタービンの

前記排ガスのうち前記カソードをバイパスした第2排ガスを第2排熱回収ボイラに導き、該第2排熱回収ボイラにおいて排熱を回収するステップと、
をさらに備える。

[0052] 上記(23)の方法によれば、第1排熱回収ボイラを通過する前の比較的高温(例えば600~650度)のガスタービンの排ガスを燃料電池に導くことで、燃料電池を適正温度にて安定運転することができる。また、ガスタービンの排ガスの一部を、カソードをバイパスして第2排熱回収ボイラに直接導くようにしたので、負荷変動に伴い排ガス流量が変化しても、燃料電池の安定運転を維持しやすくなる。

[0053] (24)幾つかの実施形態では、上記(23)の方法において、
前記第2排熱回収ボイラからの前記第2排ガスを化学吸収塔に導き、該化学吸収塔において前記第2排ガスに含まれる二酸化炭素を吸収液に吸収させるステップをさらに備え、

前記化学吸収塔に導かれる前記第2排ガスに前記第1排ガスが混合しないように、前記第1排ガス及び前記第2排ガスを、それぞれ、互いに独立して設けられた第1排ガス流路及び第2排ガス流路により導く。

[0054] 上記(24)の方法によれば、第2排熱回収ボイラを通過後の比較的低温の排ガスを化学吸収塔に導くことで、化学吸収塔における二酸化炭素の回収効率を向上させることができる。また、第1排ガス流路と第2排ガス流路とを互いに独立して設け、第1排ガス流路におけるカソードを通過後のCO₂欠乏排ガスと、化学吸収塔へと導入される第2排ガス流路におけるCO₂リッチ排ガスとの混合を防止することで、化学吸収塔における二酸化炭素分離効率を向上させることができる。

[0055] (25)幾つかの実施形態では、上記(19)乃至(22)の何れかの方法は、

前記二酸化炭素を含む前記排ガスの一部を前記燃料電池の前記カソードに供給するステップと、

前記排ガスの残部を化学吸収塔に導くステップと、

前記化学吸収塔において、前記排ガス中の前記二酸化炭素を吸収液に吸収させるステップと、
を備える。

[0056] 上記（２５）の方法によれば、排ガスの一部を燃料電池のカソードに供給するとともに、排ガスの残部を化学吸収塔に導くので、排ガスは、燃料電池と化学吸収塔とで並列に処理される。よって、排ガス流量の変動に対応しつつ、プラント全体としてのエネルギー効率の低下を抑制することができる。

[0057] （２６）幾つかの実施形態では、上記（２５）の方法において、前記吸収液は、アミンを含む。

[0058] 上記（２６）の方法によれば、二酸化炭素との高い化学反応性を有するアミンを含む吸収液を用いることで、排ガスにおける二酸化炭素の分圧が低い場合であっても、二酸化炭素を効果的に回収できる。

[0059] （２７）幾つかの実施形態では、上記（１９）乃至（２６）の何れかの方法は、

前記カソードの入口側の前記排ガスと、前記カソードの出口側の前記排ガスとを熱交換するステップをさらに備える。

[0060] 上記（２７）の方法によれば、例えば火力発電装置等からの比較的低温の排ガスであっても、燃料電池で生じる反応熱により高温となったカソード出口側の排ガスとの熱交換によって昇温した後にカソードに供給することができる。これにより、燃料電池で発生した熱エネルギーを有効活用しながら、燃料電池の適正温度を維持して安定運転を行うことができる。

[0061] （２８）幾つかの実施形態では、上記（１９）乃至（２７）の何れかの方法は、

前記排ガスの一部と前記排ガスの残部とに前記排ガスを分流するステップと、

分流前における前記排ガスに含まれる硫黄分を除去するステップと、
をさらに備える。

[0062] 上記（２８）の方法によれば、分流前における排ガスに含まれる硫黄分を

除去するので、燃料電池に供給される排ガスの一部及び化学吸収塔に供給される排ガスの残部のそれぞれについて分流後に別々に硫黄分を除去するのではなく、排ガスに含まれる硫黄分を分流前に一括して除去できる。これにより、脱硫にかかるコストを削減しながら、排ガス中における硫黄分に起因した燃料電池または化学吸収塔の性能低下を抑制することができる。

[0063] (29) 幾つかの実施形態では、上記(19)乃至(28)の何れかの方法は、

前記カソードの上流側において、前記カソードに供給される前記排ガスの前記一部に含まれる煤塵を除去するステップをさらに備える。

[0064] 上記(29)の方法によれば、燃料電池のカソードの上流側において、燃料電池に供給される排ガスの一部に含まれる煤塵を除去するので、煤塵が除去された排ガスをカソードに供給することができる。よって、排ガス中の煤塵に起因した燃料電池の性能劣化を抑制することができる。

発明の効果

[0065] 本発明の少なくとも一実施形態によれば、排ガス流量の変化に対応しつつ、プラント全体としてのエネルギー効率の低下を抑制可能な二酸化炭素回収システム、火力発電設備、及び、二酸化炭素回収方法が提供される。

図面の簡単な説明

[0066] [図1]一実施形態に係る火力発電設備の概略構成図である。

[図2]図1に示す二酸化炭素回収システムにおける流量制御の一例を示す概念図である。

[図3]火力発電装置の負荷と排ガスの第1流量との関係の一例を示すグラフである。

[図4]一実施形態に係る二酸化炭素回収システムの構成の一例を示す図である。

[図5]一実施形態に係る排熱回収ボイラの煙道の一部を平面視した概略図である。

[図6]一実施形態に係る火力発電設備の概略構成図である。

[図7]一実施形態に係る二酸化炭素回収システムの構成を部分的に示す図である。

[図8]火力発電装置からの排ガスの流量制御の一例を示す概念図である。

[図9]火力発電装置の負荷と制御部によって調節される第1流量との関係の一例を示すグラフである。

[図10]一実施形態に係る火力発電設備の概略構成図である。

[図11]一実施形態に係る火力発電設備の概略構成図である。

[図12]一実施形態に係る火力発電設備の概略構成図である。

[図13]一実施形態に係る火力発電設備の概略構成図である。

[図14]一実施形態に係る火力発電設備の概略構成図である。

[図15]一実施形態に係る火力発電設備の概略構成図である。

[図16]一実施形態に係る火力発電設備の概略構成図である。

[図17]一実施形態に係る火力発電設備の概略構成図である。

[図18]一実施形態に係る火力発電設備の概略構成図である。

[図19]一実施形態に係る火力発電設備の概略構成図である。

[図20]一実施形態に係る火力発電設備の概略構成図である。

[図21]一実施形態に係る火力発電設備の概略構成図である。

[図22]一実施形態に係る火力発電設備の概略構成図である。

[図23]一実施形態に係る火力発電設備の概略構成図である。

[図24]一実施形態に係る火力発電設備の概略構成図である。

[図25]一実施形態に係る火力発電設備の概略構成図である。

発明を実施するための形態

[0067] 以下、添付図面を参照して本発明の幾つかの実施形態について説明する。ただし、実施形態として記載されている又は図面に示されている構成部品の寸法、材質、形状、その相対的配置等は、本発明の範囲をこれに限定する趣旨ではなく、単なる説明例にすぎない。

[0068] まず、幾つかの実施形態に係る二酸化炭素回収システムの概要について説明する。なお、本発明に係る二酸化炭素回収システムの適用先は、以下に説

明するガスタービンを含む火力発電設備には限られず、燃焼装置（例えば、ボイラ、ガスタービン、又はエンジン等）を含み、二酸化炭素を含む排ガスを発生する種々の設備に適用することができる。

[0069] 図1、図6、図10～12、図16～図19及び図20～図25は、それぞれ、一実施形態に係る火力発電設備の概略構成図である。図1に示すように、火力発電設備1は、火力発電装置2（設備）と、二酸化炭素回収システム4と、を備える。二酸化炭素回収システム4は、火力発電装置2からの排ガスから二酸化炭素（CO₂）を回収するように構成される。

図6、図10～12、図16～図19及び図20～図25に係る火力発電設備1も、同様の構成を有している。

[0070] 火力発電装置2は、燃焼装置としてガスタービン100を含んでいてもよい。

なお、図6、図10～12、図16～図19及び図20～図25において明示されていない場合であっても、これらの図に示す実施形態において、火力発電装置2は上述のガスタービン100を含んでいてもよい。

[0071] 図1に示す例示的な実施形態では、ガスタービン100は、空気を圧縮するための圧縮機102と、燃料（例えば天然ガス等）を燃焼させて燃焼ガスを発生させるための燃焼器104と、燃焼ガスにより回転駆動されるように構成されたタービン106と、を備える。

燃焼器104には、燃料貯留部20からの燃料（天然ガス等）が燃料供給流路22を介して供給されるようになっている。また、燃焼器104には圧縮機102で圧縮された空気が送り込まれるようになっており、この圧縮空気は、燃焼器104において燃料が燃焼する際の酸化剤としての役割を有する。

タービン106には回転シャフト103を介して発電機108が連結されており、タービン106の回転エネルギーによって発電機108が駆動されて電力が生成されるようになっている。タービン106で仕事を終えた燃焼ガスは、排ガスとしてタービン106から排出されるようになっている。

また、図1以外の図に示すガスタービン100も、基本的には同様の構成を有している。

[0072] 他の実施形態では、火力発電装置2は、例えば、燃焼装置としてボイラを含む石炭焚き発電装置や、ガスタービン複合発電（GTCC：Gas Turbine Combined Cycle）、又は石炭ガス化複合発電（IGCC：Integrated coal Gasification Combined Cycle）等の複合型発電装置であってもよい。

[0073] 二酸化炭素回収システム4は、火力発電装置2における燃焼生成ガスを含む排ガスに含まれるCO₂を回収するように構成されていてもよい。例えば、火力発電装置2が燃焼器を含むボイラ又はガスタービンを備える場合、二酸化炭素回収システム4は、該ボイラ又はガスタービンからの排ガスに含まれるCO₂を回収するように構成されていてもよい。あるいは、火力発電装置2が、ガスタービン等からの排ガスの熱を回収するための排熱回収ボイラ（HRSG：Heat Recovery Steam Generator）を備える場合、二酸化炭素回収システム4は、該排熱回収ボイラからの排ガスに含まれるCO₂を回収するように構成されていてもよい。

[0074] 以下、本発明の幾つかの態様について説明する。

[0075] [本発明の第1の態様]

図1に示す例示的な実施形態では、二酸化炭素回収システム4は、火力発電装置2で発生した排ガスから二酸化炭素を回収するように構成される。すなわち、図1に示す二酸化炭素回収システム4は、火力発電装置2において、ガスタービン100における燃料の燃焼で生じた燃焼ガスを含み、ガスタービン100から排出された排ガスから二酸化炭素を回収するように構成される。

[0076] 図1に示す二酸化炭素回収システム4は、二酸化炭素を含む排ガス（ガスタービン100からの排ガス）が流れる第1排ガス流路6と、第1排ガス流路6から分岐する第2排ガス流路8と、第1排ガス流路6上に設けられたカソード12を含む燃料電池10と、を備える。

第2排ガス流路は、燃料電池10のカソード12をバイパスするように、カソード12の上流側において第1排ガス流路6から分岐して設けられる。したがって、火力発電装置2からの排ガスは、分岐点から第1排ガス流路6を介して燃料電池10のカソード12に供給できるようになっているとともに、分岐点から第2排ガス流路8に導くことができるようになっている。

[0077] 分岐点から第1排ガス流路6及び第2排ガス流路8への排ガスの分配の仕方については後で詳述するが、幾つかの実施形態では、少なくとも火力発電装置2の定格運転時において、火力発電装置2からの排ガスの一部は、第2排ガス流路8に導かれるようになっている。

このように、火力発電装置2からの排ガスの一部を、燃料電池10（カソード12）をバイパスさせて第2排ガス流路8に導くことで、火力発電装置2からの排ガスのうち、燃料電池10で適切に処理可能な範囲の流量を燃料電池10のカソード12に供給するとともに、排ガスのうち残りの部分を、第2排ガス流路8に導いて利用したり処理したりすることができる。よって、火力発電装置2の負荷変動に伴う排ガス流量の変化に対応しつつ、プラント全体としてのエネルギー効率の低下を抑制しながら二酸化炭素を回収することができる。

[0078] 燃料電池10は、アノード（燃料極）16と、カソード（空気極）12と、電解質14と、を含む。カソード12は、上述したように第1排ガス流路6上に設けられており、第1排ガス流路6からの排ガスが供給されるようになっている。電解質14は、第1排ガス流路6からの排ガス中に含まれるCO₂由来の炭酸イオン（CO₃²⁻）をカソード12からアノード16に移動させるように構成される。

燃料電池10は、電解質14として炭酸塩を用いた、熔融炭酸塩型燃料電池（MCFC： Molten Carbonate Fuel Cell）であってもよい。電解質14として用いられる炭酸塩は、例えば、炭酸リチウム、炭酸ナトリウム、又は炭酸カリウム等であってもよく、又は、これらの混合物であってもよい。

[0079] 燃料電池 10 のカソード 12 では、第 1 排ガス流路 6 からの排ガスに含まれる CO_2 及び酸素 (O_2) と電子とが反応して炭酸イオン (CO_3^{2-}) が生成される。カソード 12 で生成した炭酸イオンは、電解質 14 をアノード 16 に向かって移動する。

一方、燃料電池 10 のアノード 16 には、アノード入口側流路 15 から水素 (H_2) を含む燃料ガスが供給されるようになっている。アノード 16 では、アノード入口側流路 15 からの水素 (H_2) と、電解質 14 を移動してきた炭酸イオン (CO_3^{2-}) とが反応して、水 (H_2O)、 CO_2 及び電子が生成される。

このようにして、第 1 排ガス流路 6 からカソード 12 に供給された CO_2 は、炭酸イオンの形で電解質 14 をカソード 12 からアノード 16 に移動し、アノード 16 での反応により CO_2 となる。

[0080] アノード 16 で生成された CO_2 は、 H_2O 及び燃料ガスの未反応成分とともに混合ガスとしてアノード出口側流路 17 に流出する。混合ガス中に含まれる CO_2 は、アノード出口側流路 17 に設けられた分離器 36 によって混合ガスから分離された後、回収される。なお、分離器 36 で分離された CO_2 (すなわち、燃料電池 10 によりアノード 16 側に回収された CO_2) は、コンプレッサ 40 で圧縮されるようになっていてもよい。

[0081] 分離器 36 は、膜分離法または深冷分離法によって混合ガスを分離するように構成されていてもよい。また、アノード出口側流路 17 において、分離器 36 の上流側には、混合ガスの圧力を、分離器 36 で採用される分離手法に適した圧力に昇圧するための圧縮機 34 が設けられていてもよい。

[0082] アノード入口側流路 15 には、燃料供給流路 22 を介して、燃料 (例えば天然ガス) が貯留される燃料貯留部 20 が接続されている。燃料貯留部 20 内の燃料は、水素 (H_2) に改質されて、アノード入口側流路 15 からアノード 16 に供給されるようになっている。

例えば、図 1 に示す例示的な実施形態では、燃料供給流路 22 に設けられた予備改質器 26 及び燃料電池 10 に設けられた改質部 18 において、燃料

が改質されて水素 (H_2) が生成される。そして、このように燃料の改質により生成した水素がアノード入口側流路 15 からアノード 16 に供給されるようになっている。

[0083] なお、図 1 に示すように、アノード出口側流路 17 に設けられた上述の分離器 36 では、アノード 16 からの混合ガスから水素が分離されるようになっていてもよい。分離器 36 で分離された水素は、アノード入口側流路 15 に連通する流路（不図示）及びアノード入口側流路 15 を介して、燃料電池 10 での反応に用いられる燃料としてアノード 16 に供給されるようになっていてもよい。

また、図 1 に示すように、アノード出口側流路 17 には、分離器 36 及び圧縮機 34 の上流側に、CO シフト反応を行うための CO 変成器 30 及び混合ガスを冷却して H_2O を分離するための冷却器 32 が設けられていてもよい。

[0084] ところで、燃料の改質反応は吸熱反応であり、通常、外部から熱を加える必要がある。そこで、図 1 に示すように、燃料供給流路 22 から改質部 18 に供給する燃料を昇温させるための熱交換器 28 を、改質部 18 の上流側に設けてもよい。燃料を熱交換器 28 により昇温させてから改質部 18 に供給することで、燃料の改質反応を効率良く行うことができる。

[0085] なお、図 1 に示す実施形態では、熱交換器 28 は、燃料供給流路 22 から改質部 18 に供給する燃料を、アノード 16 から流出するガスとの熱交換により昇温させるように構成される。

熔融炭酸塩型燃料電池は、約 $600^{\circ}C \sim 700^{\circ}C$ 程度の高温で動作し、アノード 16 から流出するガスも同程度の高温を有する。よって、上述の熱交換器 28 によれば、燃料電池 10 で生じる反応熱を有効利用しながら燃料の改質反応を行うことができる。

[0086] 第 1 排ガス流路 6 において、カソード出口 12b からは、カソード 12 で CO_2 が消費された排ガスが流出する。カソード出口 12b から流出した排ガスは、第 1 排ガス流路 6 に接続される煙突 46 から排出されるようになって

いてもよい。

[0087] 図1に示すように、第1排ガス流路6には、カソード12よりも上流側に、燃焼器24が設けられていてもよい。この場合、燃焼器24において燃料を燃焼させることにより、燃焼熱によって第1排ガス流路6のカソード入口側の排ガスを昇温させることができる。

通常、燃料電池10の動作温度は約600℃～700℃程度であり、燃料電池10の適正な運転状態を維持するためには、燃料電池10に供給されるガスの温度がある程度高いことが望ましい。そこで、カソード12よりも上流側に設けた燃焼器24によってカソード入口側の排ガスを適温まで昇温させることにより、燃料電池10を適切に作動させることができる。

[0088] 図1に示す例示的な実施形態では、カソード12の下流側には、カソード12からの排ガスが流入するように構成された第1排熱回収ボイラ44Aが設けられている。第1排熱回収ボイラ44Aは、カソード12からの排ガスの熱（すなわちガスタービン100の排熱）を回収するように構成される。例えば、第1排熱回収ボイラ44Aは、カソード12からの排ガスと給水との間で熱交換を行うことにより、蒸気を生成するように構成されていてもよい。これにより、ガスタービン100の排熱を有効利用して蒸気を生成することができる。

この場合、煙突46は、第1排熱回収ボイラ44Aの下流側において第1排ガス流路6に接続され、第1排熱回収ボイラ44Aからの排ガスが煙突46から排出されるようになっていてもよい。

[0089] 図1に示す例示的な実施形態では、第1排ガス流路から分岐する第2排ガス流路8は、カソード12をバイパスして第2排熱回収ボイラ44Bに接続されている。第2排熱回収ボイラ44Bは、カソード12をバイパスして第2排ガス流路8を流れるガスタービン100からの排ガスの熱（すなわちガスタービン100の排熱）を回収するように構成される。例えば、第2排熱回収ボイラ44Bは、第2排ガス流路8からの排ガスと給水との間で熱交換を行うことにより、蒸気を生成するように構成されていてもよい。これによ

り、ガスタービン100の排熱を有効利用して蒸気を生成することができる。

[0090] なお、カソード12を経由した排ガスが供給される上述の第1排熱回収ボイラ44Aと、カソード12をバイパスした排ガスが供給される上述の第2排熱回収ボイラ44Bとは、それぞれ別個の排熱回収ボイラとして構成されていてもよく、あるいは、図1に示すように、同一筐体の排熱回収ボイラ44が第1排熱回収ボイラ44A及び第2排熱回収ボイラ44Bの両方として機能するようになっていてもよい。

[0091] 図1に示す例示的な実施形態では、第2排熱回収ボイラ44Bの下流側において、第2排ガス流路8上に、化学吸収塔48が設けられている。化学吸収塔48は、第2排熱回収ボイラ44Bからの排ガスに含まれるCO₂を吸収液に吸収させるように構成される。

[0092] 一実施形態に係る化学吸収塔48では、吸収液と、第2排熱回収ボイラ44Bからの排ガスとを接触させることにより、排ガスに含まれるCO₂が吸収液に取り込まれるようになっている。これにより、排ガスからCO₂が除去される。CO₂が除去された排ガスは、処理済排ガスとして化学吸収塔48の出口48aから排出される。

[0093] CO₂を吸収した吸収液は、化学吸収塔48から再生塔50に送られて、該再生塔50にて再生される。再生塔50では、CO₂を吸収した吸収液が加熱されることによって、CO₂が吸収液から除去される。吸収液から除去されたCO₂を含むガスは、再生塔50から排出ライン9に排出され、例えば気液分離器（不図示）で水分が除去された後、CO₂がガスとして回収される。なお、排出ライン9からのCO₂（すなわち、化学吸収塔48により回収されたCO₂）は、コンプレッサ40で圧縮されるようになっていてもよい。

一方、再生塔50でCO₂が除去されて再生された吸収液は化学吸収塔48に返送され、再度、第2排熱回収ボイラ44Bからの排ガスに含まれるCO₂を吸収するために用いられる。

[0094] 化学吸収塔48に用いる吸収液は、アミンを含んでいてもよい。アミンを

含む吸収液は、二酸化炭素との高い化学反応性を有する。よって、アミンを含む吸収液を用いることで、排ガスにおける二酸化炭素の分圧が低い場合であっても、二酸化炭素を効果的に回収できる。

アミンを含む吸収液は、例えば、アルカノールアミン（例えばモノエタノールアミン等）の水溶液であってもよい。

[0095] 化学吸収塔48において、CO₂が効率的に吸収液に吸収される温度は、吸収液の種類によって異なるが、ガスタービン100や、燃料電池10から排出される排ガスの温度よりも低い場合がある。この点、図1に示す実施形態では、第2排熱回収ボイラ44Bを通過後の比較的低温の排ガスを化学吸収塔48に導くようにしているので、化学吸収塔48における二酸化炭素の回収効率を向上させることができる。

[0096] 図1に示す例示的な実施形態では、第1排熱回収ボイラ44A及び第2排熱回収ボイラ44Bの下流側において、第1排ガス流路6と第2排ガス流路とが互いに独立して設けられている。これにより、第1排熱回収ボイラ44Aの下流側において、第1排ガス流路6を流れる排ガスが、第2排熱回収ボイラ44Bから化学吸収塔48へと第2排ガス流路8を流れる排ガスと混合しないようになっている。

この場合、第1排熱回収ボイラ44Aの下流側において、第1排ガス流路6におけるカソードを通過後のCO₂欠乏排ガスと、第2排ガス流路8から化学吸収塔48へと導入される第2排ガス流路におけるCO₂リッチ排ガスとの混合が防止されるので、化学吸収塔48における二酸化炭素分離効率を向上させることができる。

[0097] 第1排熱回収ボイラ44A又は第2排熱回収ボイラ44Bにおいて排ガスから回収した熱エネルギーを利用して生成された蒸気は、様々な用途で利用することができる。

[0098] 幾つかの実施形態では、第1排熱回収ボイラ44A又は第2排熱回収ボイラ44Bで生成された蒸気により、化学吸収塔48でCO₂を吸収した吸収液を加熱して再生するようにしてもよい。

例えば、図 1 に示すように、排熱回収ボイラ 44（第 1 排熱回収ボイラ 44 A 又は第 2 排熱回収ボイラ 44 B）で生成された蒸気を、蒸気供給路 51 を介して再生塔 50 に供給し、再生塔 50 にて該蒸気を用いて吸収液を加熱するようにしてもよい。

[0099] 幾つかの実施形態では、回収された CO_2 （燃料電池 10 によりアノード 16 側に回収された CO_2 又は化学吸収塔 48 により回収された CO_2 ）を圧縮するためのコンプレッサ 40 は、図 1 に示すように、蒸気タービン 42 によって駆動されるように構成されていてもよい。そして、第 1 排熱回収ボイラ 44 A 又は第 2 排熱回収ボイラ 44 B で生成された蒸気により駆動されるようにしてもよい。

例えば、図 1 に示すように、排熱回収ボイラ 44（第 1 排熱回収ボイラ 44 A 又は第 2 排熱回収ボイラ 44 B）で生成された蒸気が、蒸気供給路 51 を介して蒸気タービン 42 に供給され、このように供給された蒸気によって蒸気タービン 42 が駆動されるようになっていてもよい。

[0100] このように、排熱回収ボイラ 44（第 1 排熱回収ボイラ 44 A 又は第 2 排熱回収ボイラ 44 B）において排ガスから回収した熱エネルギーを利用して生成した蒸気を、例えば、化学吸収塔 48 で用いられる吸収液の再生に利用したり、コンプレッサ 40 を駆動するための蒸気タービン 42 の動力源として利用したりすることで、プラント全体としてエネルギー効率を向上させることができる。

[0101] 幾つかの実施形態では、二酸化炭素回収システム 4 は、第 1 排ガス流路 6 を介してカソード 12 に供給される排ガスの流量である第 1 流量を調節するための流量調節部 7 をさらに備える。

この場合、火力発電装置 2（ガスタービン 100）の負荷の変動時等、排ガスの総流量の変動時においても、流量調節部 7 によって第 1 流量を適切に調節することで、燃料電池の適正な運転状態（例えば温度）を維持することができる。また、燃料電池 10 の劣化に起因した電圧低下に伴いアノードーカソード間の電流を減少させる必要が生じた場合、カソード 12 への排ガス

供給量（第 1 流量）を減少させることで燃料電池 10 を適正温度範囲に維持することができる。

[0102] 流量調節部 7 は、第 1 排ガス流路 6 に設けられていてもよく、あるいは第 2 排ガス流路 8 に設けられていてもよい。

例えば、図 1 に示す実施形態では、流量調節部 7 は、第 2 排ガス流路 8 において、第 2 排ガス流路 8 が第 1 排ガス流路 6 から分岐する分岐点の下流側かつ第 2 排熱回収ボイラ 44 B の上流側に設けられている。

他の実施形態では、流量調節部 7 は、例えば、第 2 排ガス流路 8 において、第 2 排熱回収ボイラ 44 B の下流側かつ化学吸収塔 48 の上流側に設けられていてもよく、あるいは、第 1 排ガス流路 6 において、上述の分岐点よりも下流側かつカソード 12 の上流側、又は、カソード 12 の下流側かつ煙突 46 の上流側に設けられていてもよい。あるいは、流量調節部 7 は、第 1 排ガス流路 6 又は第 2 排ガス流路 8 に設けられる機器（例えば、第 1 排熱回収ボイラ 44 A 又は第 2 排熱回収ボイラ 44 B）の内部に設けられていてもよい（後で説明する図 4 又は図 5 参照）。

[0103] 流量調節部 7 は、例えば、ダンパを含んでいてもよい。流量調節部 7 としてダンパを用いることで、簡素な構成により、第 1 排ガス流路 6 を介して燃料電池 10 のカソード 12 に供給される排ガス流量（第 1 流量）を調節することができる。

また、少なくともダンパ（流量調節部 7）の設置位置よりも上流側において、第 1 排ガス流路 6 及び第 2 排ガス流路 8 は、互いに独立して設けられる。この場合、ダンパの開度調整によって、第 1 排ガス流路 6 と第 2 排ガス流路 8 とで排ガスを適切に分配することができる。

[0104] あるいは、流量調節部 7 は、送風機（ブロワ又はファン等）を含んでいてもよい。送風機は、第 1 排ガス流路 6 において煙突 46 よりも上流側に設けられていてもよく、あるいは、第 2 排ガス流路において化学吸収塔 48 よりも上流側に設けられていてもよく、あるいは、その両方に設けられていてもよい。

[0105] 流量調節部7としては、単一のダンパ又は送風機を用いてもよく、あるいは、少なくとも1つのダンパ及び／又は少なくとも1つの送風機を組み合わせ用いてもよい。

[0106] 幾つかの実施形態では、二酸化炭素回収システム4は、流量調節部7を制御するための制御部5を備えていてもよい。

[0107] 以下、二酸化炭素回収システム4における排ガスの流量分配についてより具体的に説明する。なお、以下に説明する排ガスの流量分配は、制御部5で流量調節部7を制御することにより達成されてもよい。

[0108] 上述したように、幾つかの実施形態において、二酸化炭素回収システム4では、少なくとも火力発電装置2の定格運転時において、火力発電装置2からの排ガスの一部は、第2排ガス流路8に導かれるようになっている。例えば、図1に示す例示的な実施形態では、少なくともガスタービン100（火力発電装置2）の定格運転時において、ガスタービン100の排ガスの一部は、カソード12を経由せずに、第2排ガス流路8を介して第2排熱回収ボイラ44Bに導かれるようになっている。

[0109] このように、火力発電装置2からの排ガスの一部を、燃料電池10（カソード12）をバイパスさせて第2排ガス流路8に導くことで、火力発電装置2からの排ガスのうち、燃料電池10で適切に処理可能な範囲の流量を燃料電池10のカソード12に供給するとともに、排ガスのうち残りの部分を、第2排ガス流路8に導いて利用したり処理したりすることができる。

特に、図1に示す実施形態では、第1排熱回収ボイラ44Aを通過する前の比較的高温（例えば600～650度）のガスタービン100の排ガスを燃料電池10に導くことで、燃料電池10を適正温度にて安定運転することができる。また、ガスタービン100の排ガスの一部を第2排ガス流路8によりカソード12をバイパスして第2排熱回収ボイラ44Bに直接導くようにしたので、負荷変動に伴い排ガス流量が変化しても、燃料電池10の安定運転を維持しやすくなる。

よって、火力発電装置2（ガスタービン100）の負荷変動に伴う排ガス

流量の変化に対応しつつ、プラント全体としてのエネルギー効率の低下を抑制しながら二酸化炭素を回収することができる。

[0110] 図2は、図1に示す二酸化炭素回収システム4において、火力発電装置2からの排ガスを、燃料電池10のカソード12が設けられた第1排ガス流路6と、カソード12をバイパスするように第1排ガス流路6から分岐する第2排ガス流路8とに分配する場合の流量制御の一例を示す概念図である。図2に示すように、燃烧装置（図1に示すガスタービン100）を含む火力発電装置2からの排ガスは、分岐点において分岐して、第1排ガス流路6を介して燃料電池10のカソード12（図1参照）に供給される排ガスと、第2排ガス流路8を介して第2排熱回収ボイラ44Bに供給される排ガスとに分配される。

上述したように、第1排ガス流路6を介してカソード12に供給される排ガスの流量（第1流量）は、流量調節部7によって調節されてもよい。ここで、カソード12をバイパスして第2排ガス流路8に分配される排ガスの流量（図1及び図2に示す例では、第2排熱回収ボイラ44Bに供給される排ガスの流量）を第2流量とすれば、第1流量と第2流量との和が、火力発電装置2からの排ガスの全流量である。

[0111] 図2に示すように、二酸化炭素回収システム4において、燃料電池10は、互いに直列又は並列に配置された複数台の燃料電池ユニット10aを含んでもよい。ここで、燃料電池ユニット10aとは、それぞれが固有の筐体を有し、独立して燃料電池として機能する単位である。燃料電池10を構成する燃料電池ユニット10aの台数は、燃料電池10で処理すべき排ガスの流量又は燃料電池ユニット10aの容量等に応じて決定されてもよい。

図2に示す例では、燃料電池10は、「FC-1」～「FC-n」のn台の燃料電池ユニット10aが互いに並列配置された構成を有する。そして、複数台の燃料電池ユニット10aにより構成される燃料電池10のカソード12（即ち複数台の燃料電池ユニット10aのそれぞれのカソード）に対して、全体として第1流量の排ガスが供給されるようになっている。

[0112] また、図3は、火力発電装置2（ガスタービン100）の負荷と、第1排ガス流路6を介してカソード12に供給される排ガスの第1流量との関係の一例を示すグラフである。

図3のグラフの横軸は火力発電装置2（ガスタービン100）の負荷（横軸）を示し、負荷100%は、火力発電装置2（ガスタービン100）の定格負荷を意味する。また、図3のグラフにおいて、縦軸は排ガス流量を示し、第1排ガス流路6を介して燃料電池10のカソード12に供給される排ガスの第1流量、及び、火力発電装置2からの排ガスの全流量（第1流量と、第2排ガス流路8に分配される第2流量の和）が示されている。

なお、 F_{T_RATED} は、ガスタービン100の定格運転時（負荷：100%）における火力発電装置2からの排ガス流量の全量（全流量）を示し、 F_{FC_RATED} は、燃料電池10の定格運転時における排ガスの処理流量を示す。また、図4のグラフにおいて、領域S1は、排ガス全流量のうち第1流量の占める部分を示し、領域S2は、排ガス全流量のうち第2流量の占める部分を示す。

[0113] 幾つかの実施形態では、二酸化炭素回収システム4において、燃料電池10の定格運転時における火力発電装置2からの排ガスの処理流量 F_{FC_RATED} は、火力発電装置2（ガスタービン100）の定格運転時における排ガスの全流量 F_{T_RATED} よりも小さい。すなわち、燃料電池10の定格出力（複数の燃料電池ユニット10aの全容量）は、火力発電装置2の定格負荷時における排ガスの全流量 F_{T_RATED} を処理するのに必要な燃料電池の容量よりも小さい（例えば、燃料電池ユニット10aの台数が少ない）。

[0114] 仮に、火力発電装置2の定格負荷時における排ガスの全量 F_{T_RATED} を処理可能な燃料電池10（複数の燃料電池ユニット10a）を設置した場合、火力発電装置2の部分負荷運転時には、定格負荷時に比べて火力発電装置2からの排ガス流量が減少するため、燃料電池10の安定運転をするのに十分な量の熱エネルギーを排ガスから得ることができず、燃料電池10を構成する全ての燃料電池ユニット10aの安定運転を維持することができない。こ

のため、火力発電装置 2 の部分負荷運転時には、燃料電池 10 の安定運転を維持するために、複数の燃料電池ユニット 10 a のうちの一部を運転停止（ホットスタンバイ）させる必要が生じる。

この場合、運転しない燃料電池ユニット 10 a の設備コストや、一部の燃料電池ユニット 10 a の運転停止に伴う発電量の低下に伴う逸失利益を考慮すれば、経済性の面で問題がある。

[0115] この点、上述したように、火力発電装置 2（ガスタービン 100）の定格負荷時における排ガスの全流量 F_{T_RATED} を処理するのに必要な容量よりも低容量の定格出力の燃料電池 10（複数の燃料電池ユニット 10 a）を用いれば、火力発電装置 2 の定格負荷時における排ガスの全流量 F_{T_RATED} のうち一部のみが、第 1 排ガス流路 6 を介して燃料電池 10 に供給される。よって、火力発電装置 2 の部分負荷運転時においても、燃料電池 10（又は燃料電池 10 を構成する複数の燃料電池ユニット 10 a の全て）の安定運転を維持したまま排ガス流量の減少に対応しやすくなる。

[0116] 幾つかの実施形態では、図 3 のグラフに示す例のように、燃料電池 10 の定格運転時における排ガスの処理流量 F_{FC_RATED} は、火力発電装置 2（ガスタービン 100）の負荷 L_1 での運転時における排ガスの全流量 F_{min}^* 以上であり、かつ、火力発電装置 2（ガスタービン 100）の負荷 L_3 （ただし $L_1 < L_3$ ）での運転時における前記排ガスの全流量 F_{max}^* 以下である。一実施形態では、燃料電池 10 の定格運転時における排ガスの処理流量 F_{FC_RATED} は、火力発電装置 2（ガスタービン 100）の 30% 負荷（ $L_1 = 30\%$ ）での運転時における排ガスの全流量 F_{min}^* 以上であり、かつ、火力発電装置 2（ガスタービン 100）の 80% 負荷（ $L_3 = 80\%$ ）での運転時における前記排ガスの全流量 F_{max}^* 以下であってもよい。

なお、図 3 のグラフでは、火力発電装置 2 の負荷 L_2 （ただし $L_1 < L_2 < L_3$ ）での運転時における排ガスの全流量が、燃料電池 10 の定格運転時における排ガス処理流量 F_{FC_RATED} として設定されている。例えば、火力発電装置 2 の負荷 L_2 は 50% であってもよい。

[0117] 火力発電装置 2（ガスタービン 100）の負荷は、系統からの要請により、例えば 40%～100%の負荷範囲において変動することがある。この場合、燃料電池 10 の定格運転時における排ガスの処理流量 F_{FC_RATED} が上述の F_{min}^* 以上かつ F_{max}^* 以下となるように、燃料電池 10 の定格運転時における排ガス処理流量 F_{FC_RATED} を設定することで、火力発電装置 2 の部分負荷運転時においても、燃料電池 10 の安定運転を維持したまま排ガス流量の減少に対応しやすくなる。

[0118] また、幾つかの実施形態では、火力発電装置 2（ガスタービン 100）の少なくとも一部の負荷範囲において、火力発電装置 2 の負荷の大きさによらず、第 1 流量が燃料電池 10 の定格流量で一定となるように、第 1 流量が調節されるようになっていてもよい。

例えば、図 3 のグラフに示す例では、火力発電装置 2 の負荷範囲が 50% 以上 100% 以下の負荷範囲（比較的負荷が高い高負荷帯）において、負荷の大きさによらず第 1 流量が燃料電池 10 の定格流量 F_{FC_RATED} で一定となるように、第 1 流量が調節される。

[0119] この場合、上述の負荷範囲（高負荷帯）では、火力発電装置 2 の負荷が変動して、この負荷変動に伴い火力発電装置 2 からの排ガスの全流量が変化したとしても、燃料電池 10 の安定運転が可能な一定の第 1 流量（定格流量 F_{FC_RATED} ）を燃料電池 10 に供給するので、燃料電池 10 の安定運転を維持することができる。

[0120] なお、上述の高負荷帯における第 1 流量の一定値（図 3 の例では定格流量 F_{FC_RATED} ）は、燃料電池 10 の経時的な状態変化に応じて変化させてもよい。

例えば、燃料電池 10 が劣化して、燃料電池 10 の劣化に起因した電圧低下に伴いアノード - カソード間の電流を減少させる必要が生じた場合、上述の高負荷帯での燃料電池 10 への排ガス供給量（第 1 流量）が上述の定格流量（ F_{FC_RATED} ）よりも小さい流量で一定となるように、第 1 流量の一定値を設定するようにしてもよい。

このように、上述の高負荷帯における第1流量の一定値は、燃料電池10の劣化等の状態変化を考慮して、定格流量 (F_{FC_RATED}) から変化させた値に設定してもよい。

[0121] なお、燃料電池10に供給される排ガスの第1流量が定格流量以下である場合であっても、ある程度の排ガス供給量が確保できれば、燃料電池10の安定運転が可能である場合がある。そこで、火力発電装置2の負荷が閾値未満であり、排ガス全流量が燃料電池10の定格流量 (F_{FC_RATED}) 以下である少なくとも一部の負荷範囲において、排ガス全流量を第1流量として燃料電池10に供給するように制御部5による制御を行ってもよい。

例えば、火力発電装置2の負荷が L_1 であるときの排ガス全流量 (図3の F_{*min}) 以上の第1流量が確保できれば燃料電池10の安定運転が維持できる場合、図3に示す例のように、火力発電装置2の負荷が L_1 以上 L_2 未満の負荷範囲である時に、火力発電装置2からの排ガスの全流量を、第1流量として燃料電池10に供給するようにしてもよい。

[0122] これにより、火力発電装置2のより広範な負荷範囲において燃料電池10を運転することができ、プラント全体としての発電効率を向上させながら、二酸化炭素を回収することができる。

[0123] 次に、幾つかの実施形態に係る排熱回収ボイラ44についてより具体的に説明する。

図4は、一実施形態に係る二酸化炭素回収システム4の構成の一例を示す図であり、特に、排熱回収ボイラ44 (第1排熱回収ボイラ44A及び第2排熱回収ボイラ44B) の構成の一例を説明するための図である。

なお、図4に示すガスタービン100を含む火力発電装置2は、図1に示す火力発電装置2と同様の構成を有する。

[0124] 図4に示す例示的な実施形態では、火力発電装置2を構成するガスタービン100からの排ガスは、第1排ガス流路6及び第1排ガス流路6から分岐する第2排ガス流路8を介して、排熱回収ボイラ44に導かれるようになっている。

排熱回収ボイラ４４は、第１排ガス流路６から導かれる排ガスから熱を回収するための第１排熱回収ボイラ４４Ａであるとともに、第２排ガス流路８から導かれる排ガスから熱を回収するための第２排熱回収ボイラ４４Ｂである。

[0125] 排熱回収ボイラ４４は、ガスタービン１００の排ガスを流通させるための煙道５４を有している。すなわち、第１排熱回収ボイラ４４Ａと第２排熱回収ボイラ４４Ｂとは、共通の煙道５４を有している。そして、第１排ガス流路６及び第２排ガス流路８は、それぞれ、煙道５４に連通している。なお、煙道５４は、ダクト壁５５によって形成されている。

[0126] 煙道５４の上流側領域は、隔壁５２によって第１部分５６と第２部分５８とに隔てられている。ここで、煙道５４の第１部分５６は、第１排ガス流路６を部分的に形成するとともに、煙道５４の第２部分５８は、第２排ガス流路８を部分的に形成している。

[0127] 図４に示す実施形態では、煙道５４の第１部分に燃料電池１０のカソード１２が配置され、第１排ガス流路６からの排ガスがカソード１２に供給されるようになっている。また、カソード１２出口から流出した排ガスは、カソード１２の下流側の煙道５４の第１部分に流出するようになっている。

そして、隔壁５２よりも下流側において、燃料電池１０のカソード１２を経由した第１部分からの排ガスと、カソード１２を経由せずにバイパスした第２部分からの排ガスとが合流するようになっている。

[0128] すなわち、煙道５４のうち、第１排ガス流路６からの排ガスが導かれる第１部分５６は第１排熱回収ボイラ４４Ａを構成し、第２排ガス流路８からの排ガスが導かれる第２部分５８は第２排熱回収ボイラ４４Ｂを構成する。また、煙道５４のうち、隔壁５２で区切られていない下流側の領域（第１部分５６及び第２部分５８の下流側の領域）は、第１排ガス流路６からの排ガス及び第２排ガス流路８からの排ガスが導かれる領域であり、第１排熱回収ボイラ４４Ａ及び第２排熱回収ボイラ４４Ｂを構成する。

[0129] 排熱回収ボイラ４４は、各種の熱交換器（６８、７０ａ～７０ｆ、７２ａ

～72 f、74 a～74 b) を有しており、これらの熱交換器を構成する伝熱管は、煙道54の内部を通過するように設けられる。伝熱管の内部を蒸気が循環しており、伝熱管の内部を流通する蒸気と、煙道54を流れる排ガス(熱媒体)とが熱交換されるようになっている。

[0130] 図4に示す排熱回収ボイラ44は、高圧蒸気流路69、中圧蒸気流路71、低圧蒸気流路73を含む蒸気循環流路と、これらの各蒸気流路に設けられた熱交換器(68、70 a～70 f、72 a～72 f、74 a～74 b)と、を含む。これらの熱交換器は、例えば、節炭器、蒸発器、過熱器、又は再熱器等であってもよい。

[0131] 高圧蒸気流路69、中圧蒸気流路71、低圧蒸気流路73には、それぞれ、各蒸気流路からの蒸気によって駆動されるように構成された高圧タービン60、中圧タービン62、及び低圧タービン64が設けられている。また、各蒸気タービン60、62、64には発電機61、63、65が接続されており、発電機61、63、65は、各蒸気タービンによって回転駆動されて、電気を生成するようになっている。

[0132] 図4に示すように、高圧タービン60及び中圧タービンで62仕事を終えた蒸気は、それぞれ、中圧蒸気流路71及び低圧蒸気流路73にそれぞれ合流し、再度熱交換器により昇温されて、中圧タービンで62及び低圧タービン64をそれぞれ駆動する蒸気として、各タービンに流入するようになっている。

[0133] 低圧タービン64の出口から流出した蒸気は、復水器66で凝縮された後、熱交換器68を経て、再度蒸気となって、高圧蒸気流路69、中圧蒸気流路71、又は低圧蒸気流路73に送られる。

[0134] 図4に示す実施形態では、第1排熱回収ボイラ44A内において最も上流側に位置する第1熱交換器(図4における熱交換器72 f)は、第2排熱回収ボイラ44B内において最も上流側に位置する第2熱交換器(図4における熱交換器72 e)よりも高温の熱媒体を熱交換により得るようになっている。

すなわち、第1部分56におけるカソード12の下流側の排ガスは、燃料電池10における反応熱により、ガスタービン100からの排ガスよりも高温になる。このため、燃料電池10のカソード12通過後の排ガスが流入する第1排熱回収ボイラ44A（煙道54の第1部分56及び隔壁52の下流側）は、カソード12をバイパスした排ガスが流入する第2排熱回収ボイラ（煙道54第2部分58及び隔壁52の下流側）に比べて入口温度が高い。

[0135] よって、図4に示すように、第1排熱回収ボイラ44Aの最上流側に位置する第1熱交換器（図4では熱交換器72f）を第2排熱回収ボイラ44Bの最上流側の第2熱交換器（図4では熱交換器72e）よりも高温の熱媒体を得るように構成することで、ガスタービン100からの排熱を有効利用してプラント全体としてのエネルギー効率を高めることができる。

[0136] 第1排ガス流路6を介してカソード12に供給される排ガスの第1流量を調節するための流量調節部7としてのダンパは、煙道54内の第1部分56（第1排ガス流路6）又は第2部分58（第2排ガス流路8）に設けられていてもよい。

図4に示す実施形態では、流量調節部7としてのダンパは、第2部分58に設けられている。燃料電池10のカソード12を経由していない排ガスが流れる第2部分58の温度は、カソード12を経由した排ガスが流れる第1部分56に比べて低い。よって、図4に示すように第2部分58にダンパを設けることで、ダンパの寿命低下を抑制しながら、第1流量を適切に調節することができる。

[0137] なお、ダンパ設置位置における排ガス温度が過度に低いと、煙道において排ガス中の酸や水分等が凝縮し、これらの凝縮成分によってダンパが腐食される場合がある。よって、温度が低すぎない位置（例えば、排ガスに含まれる成分（水分等）の露点よりも温度が高い位置）にダンパを設けることで、ダンパの腐食を抑制することができる。

[0138] なお、第2排熱回収ボイラ44Bの下流側に化学吸収塔48（図4において不図示、図1参照）を設ける場合、上述したように、吸収液を加熱して再

生するための蒸気を、排熱回収ボイラ 44 から供給するようにしてもよい。例えば、図 4 に示すように、低圧蒸気流路 73 から分岐する蒸気供給路 51 を介して、低圧蒸気を再生塔 50 に供給するようにしてもよい。

[0139] 図 5 は、他の一実施形態に係る排熱回収ボイラ 44 の煙道 54 の一部を平面視した概略図である。なお、図 5 には、排熱回収ボイラ 44 の煙道 54 のうち、上流側部分の周辺部が示されている。図 5 に示す実施形態において、煙道 54 の内部には、上流側から順に、熱交換器 72 d、70 d、70 c、70 b が設けられている。各熱交換器は、伝熱管 76 によって構成されている。これらの熱交換器のうち、熱交換器 72 d、70 d、70 c は、隔壁 52 を超えて第 1 部分 56 と第 2 部分 58 の両方にまたがって設けられている。

幾つかの実施形態では、図 5 に示すように、流量調節部 7 (ダンパ) は、複数の熱交換器の間 (図 5 では、熱交換器 70 c と熱交換器 70 b との間) に設けられていてもよい。

このように、ダンパは、複数の熱交換器の間に設けることができるので、煙道 54 内におけるダンパの設置位置を柔軟に選択することができる。

[0140] [本発明の第 2 の態様]

図 6 に示す例示的な実施形態に係る二酸化炭素回収システム 4 は、火力発電装置 2 からの排ガスが流れる第 1 排ガス流路 6 と、第 1 排ガス流路 6 から分岐する第 2 排ガス流路 8 と、第 1 排ガス流路 6 に設けられたカソード 12 を含む燃料電池 10 と、第 2 排ガス流路 8 に設けられた化学吸収塔 120 と、を備える。

第 2 排ガス流路 8 は、燃料電池 10 のカソード 12 の上流側において第 1 排ガス流路 6 から分岐して設けられる。したがって、火力発電装置 2 からの排ガスは、分岐点において第 1 排ガス流路 6 と第 2 排ガス流路 8 とに分岐されて、燃料電池 10 のカソード 12 及び化学吸収塔 120 のそれぞれに供給できるようになっている。

[0141] 燃料電池 10 は、基本的には上述した本発明の第 1 の態様における燃料電池

10と同様の構成を有する。ただし、第2の態様に係る実施形態では、燃料電池10のアノード16には、アノード入口側流路146から水素(H₂)を含む燃料ガスが供給されるようになっている。

[0142] アノード16で生成されたCO₂は、H₂O及び燃料ガスの未反応成分とともに混合ガスとしてアノード出口側流路148に流出する。混合ガス中に含まれるCO₂は、アノード出口側流路148に設けられた分離器138によって混合ガスから分離された後、回収される。なお、分離器138で分離されたCO₂は、圧縮機140で圧縮されてから回収されるようになっていてもよい。

[0143] 分離器138は、膜分離法または深冷分離法によって混合ガスを分離するように構成されていてもよい。また、アノード出口側流路148において、分離器138の上流側には、混合ガスの圧力を、分離器138で採用される分離手法に適した圧力に昇圧するための圧縮機136が設けられていてもよい。

[0144] アノード入口側流路146には、燃料供給流路150を介して、燃料(例えば天然ガス)が貯留される燃料貯留部128が接続されている。燃料貯留部128内の燃料は、水素(H₂)に改質されて、アノード入口側流路146からアノード16に供給されるようになっている。

例えば、図6に示す例示的な実施形態では、燃料供給流路150に設けられた予備改質器132及び燃料電池10に設けられた改質部18において、燃料が改質されて水素(H₂)が生成される。そして、このように燃料の改質により生成した水素がアノード入口側流路146からアノード16に供給されるようになっている。

[0145] また、図6に示すように、アノード出口側流路148に設けられた上述の分離器138では、アノード16からの混合ガスから水素が分離されるようになっていてもよい。分離器138で分離された水素は、アノード入口側流路146を介してアノード16に供給されるようになっていてもよい。

[0146] なお、図6において、燃料供給流路150には、燃料供給流路150を流

れる燃料ガスと、アノード出口側流路148を流れるガスとの間で熱交換を行うための熱交換器134が設けられている。

燃料の改質反応は吸熱反応であり、通常、外部から熱を加える必要がある。一方、熔融炭酸塩型燃料電池は、約600℃～700℃程度の高温で動作し、アノード16から流出するガスも同程度の高温を有する。そこで、アノード16から流出するガスの熱で燃料供給流路150を流れる燃料を熱交換器134において昇温させることによって、燃料電池で生じる反応熱を有効利用しながら燃料の改質反応を行うことができる。

[0147] 第1排ガス流路6において、カソード出口12bからは、カソード12でCO₂が消費された排ガスが流出する。カソード出口12bから流出した排ガスは、第1排ガス流路6に接続される煙突126から排出されるようになっていてもよい。

[0148] 図6に示す例示的な実施形態において、第1排ガス流路6には、カソード入口12a側の排ガスと、カソード出口12b側の排ガスとを熱交換するための熱交換器124が設けられている。

火力発電装置2からの排ガス（カソード入口12a側の排ガス）は、通常、燃料電池10の動作温度（約600℃～700℃程度）に比べて低い。一方、カソード12から流出する排ガス（カソード出口12b側の排ガス）は、燃料電池で生じる反応熱により高温となっている。そこで、比較的低温のカソード入口12a側の排ガスを、比較的高温を有するカソード出口12b側の排ガスとの熱交換によって昇温した後にカソード12に供給することにより、燃料電池10で発生した熱エネルギーを有効活用しながら、燃料電池10の適正温度を維持して安定運転を行うことができる。

[0149] なお、図6に示すように、第1排ガス流路6には、カソード12よりも上流側に、燃焼器130が設けられていてもよい。この場合、燃焼器130において燃料を燃焼させることにより、燃焼熱によって第1排ガス流路6のカソード入口12a側の排ガスを昇温させることができる。なお、燃焼器130には、燃料供給流路152を介して燃料貯留部128からの燃料が供給さ

れるようになっていてもよい。

例えば、燃料電池 10 の起動時等には、燃料電池 10 での反応熱があまり発生しておらず、カソード出口 12 b 側の排ガスの温度があまり高くなっていない場合がある。このような場合、熱交換器 124 による熱交換だけでは、カソード入口 12 a 側の排ガス温度を、燃料電池 10 での反応に必要な温度まで十分に昇温できないことがある。そこで、燃焼器 130 によってカソード入口 12 a 側の排ガスを適温まで昇温させることにより、燃料電池 10 を適切に作動させることができる。

[0150] 化学吸収塔 120 は、第 2 排ガス流路 8 から供給される排ガスに含まれる CO_2 を吸収液に吸収させるように構成される。

一実施形態に係る化学吸収塔 120 では、吸収液と、第 2 排ガス流路 8 からの排ガスとを接触させることにより、排ガスに含まれる CO_2 が吸収液に取り込まれるようになっている。これにより、排ガスから CO_2 が除去される。 CO_2 が除去された排ガスは、処理済排ガスとして化学吸収塔 120 の出口 120 a から排出される。

[0151] CO_2 を吸収した吸収液は、化学吸収塔 120 から吸収液再生塔 122 に送られて再生される。吸収液再生塔 122 では、 CO_2 を吸収した吸収液が加熱されることによって、 CO_2 が吸収液から除去される。吸収液から除去された CO_2 を含むガスが排出ライン 9 に排出され、気液分離器で水分を除去した後、 CO_2 がガスとして回収される。なお、排出ライン 9 からの CO_2 を圧縮機 140 により圧縮してから回収してもよい。

一方、吸収液再生塔 122 で CO_2 が除去されて再生された吸収液は化学吸収塔 120 に返送され、再度、第 2 排ガス流路 8 からの排ガスに含まれる CO_2 を吸収するために用いられる。

[0152] 化学吸収塔 120 に用いる吸収液は、アミンを含んでもよい。アミンを含む吸収液は、二酸化炭素との高い化学反応性を有する。よって、アミンを含む吸収液を用いることで、排ガスにおける二酸化炭素の分圧が低い場合であっても、二酸化炭素を効果的に回収できる。

アミンを含む吸収液は、例えば、アルカノールアミン（例えばモノエタノールアミン等）の水溶液であってもよい。

[0153] なお、化学吸収塔 120 において、CO₂ が効率的に吸収液に吸収される温度は、吸収液の種類によって異なるが、火力発電装置等から排出される排ガスの温度よりも低い場合がある。この場合、化学吸収塔 120 よりも上流側において、第 1 排ガス流路 6 又は第 2 排ガス流路 8 に、化学吸収塔 120 に供給される排ガスを冷却するための冷却装置（不図示）を設けてもよい。これにより、化学吸収塔 120 において、CO₂ を吸収液に効率良く吸収させることができる。

[0154] 上述の二酸化炭素回収システム 4 によれば、第 1 排ガス流路 6 に燃料電池 10 のカソード 12 を設け、第 1 排ガス流路 6 から分岐した第 2 排ガス流路 8 に化学吸収塔 120 を設けることで、燃料電池 10 と化学吸収塔 120 とが並列配置されることになる。このため、排ガスを化学吸収塔 120 と燃料電池 10 とに分配して両者を併用することで、排ガス流量の変動に対応しつつ、プラント全体としてのエネルギー効率の低下を抑制することができる。

[0155] 図 7 は、一実施形態に係る二酸化炭素回収システム 4 の構成を部分的に示す図である。

幾つかの実施形態では、図 7 に示すように、第 1 排ガス流路 6 からの第 2 排ガス流路 8 の分岐点の上流側において、第 1 排ガス流路 6 に脱硫装置 142 が設けられる。脱硫装置 142 は、第 1 排ガス流路 6 を流れる排ガスに含まれる硫黄分を除去するように構成される。

[0156] 火力発電装置等からの排ガス中には、硫黄酸化物（SO₂ 等）等の硫黄分が含まれることがある。

SO₂ が含まれる排ガスが化学吸収塔 120 に供給されると、化学吸収塔 120 において排ガス中の SO₂ が吸収液に吸収されることがある。この場合、吸収液再生塔 122（図 6 参照）において SO₂ が吸収液から放散されずに吸収液内に蓄積され、吸収液の CO₂ 吸収性能が低下する要因となる可能性がある。

また、燃料電池 10 には、カソード 12（図 6 参照）に直接排ガスが供給されるようになっている。このため、第 1 排ガス流路 6 からの排ガスに硫黄分等の不純物が含まれると、カソード 12 に不純物が導入されてしまい、燃料電池 10 の発電性能が低下する要因となる可能性がある。

[0157] この点、上述の分岐点の上流側において第 1 排ガス流路 6 に脱硫装置 142 を設けることで、前処理としての脱硫装置を燃料電池 10 と化学吸収塔 120 とで共有することができる。すなわち、燃料電池 10 に供給される排ガス、及び、化学吸収塔 120 に供給される排ガスのそれぞれに含まれる硫黄分を、分岐点の上流側で一括して除去することができる。

よって、燃料電池 10 と化学吸収塔 120 のそれぞれについて別個の脱硫装置を設ける場合に比べて脱硫装置の設置コストを削減しながら、排ガス中における硫黄分に起因した燃料電池 10 または化学吸収塔 120 の性能低下を抑制することができる。

[0158] 脱硫装置 142 は、例えば、塩基性吸収液（例えば、塩基性ナトリウム化合物を含む吸収液）と、排ガスを接触させることにより、排ガス中の SO_2 を吸収液に吸収させるように構成された高度脱硫装置であってもよい。

[0159] 幾つかの実施形態では、図 7 に示すように、第 1 排ガス流路 6 からの第 2 排ガス流路 8 の分岐点の下流側かつカソード 12（燃料電池 10）の上流側において、カソード 12 に供給される排ガス中の煤塵を除去するための除塵装置 144 が設けられる。

このように、分岐点の下流側かつ燃料電池 10 のカソード 12 の上流側に設けた除塵装置 144 によって排ガスを処理することにより、煤塵が除去された排ガスをカソード 12 に供給することができ、排ガス中の煤塵に起因した燃料電池 10 の性能劣化を抑制することができる。

[0160] なお、除塵装置 144 は、第 1 排ガス流路 6 からの第 2 排ガス流路 8 の分岐点の上流側に設けられてもよく、この場合、除塵装置 144 によって煤塵が除去された排ガスが燃料電池 10 のカソード 12 及び化学吸収塔 120 の両方に供給されることとなる。

しかしながら、排ガスに含まれる煤塵の性能劣化等への影響は、吸収液にCO₂を吸収させる化学吸収塔120よりも、排ガスが直接カソード12に供給される燃料電池10において、より大きいと考えられる。

この点、図7に示すように、分岐点の下流側かつカソード12（燃料電池10）の上流側に除塵装置144を設ける場合、分岐点の上流側に除塵装置144を設ける場合に比べて、処理対象となる排ガスの流量が低減される。よって、除塵装置144を小型化することができ、あるいは、除塵装置144を駆動するための動力を低減することができる。

[0161] 幾つかの実施形態では、二酸化炭素回収システム4（図6参照）は、第1排ガス流路6を介してカソード12に供給される排ガスの流量である第1流量を調節するための流量調節部7をさらに備える。

流量調節部7によって、燃料電池10を運転するうえで適切な流量（第1流量）の排ガスをカソード12に供給することにより、燃料電池10の適正な運転状態（例えば温度）を維持することができる。また、燃料電池10の劣化に起因した電圧低下に伴いアノード-カソード間の電流を減少させる必要が生じた場合、カソード12への排ガス供給量（第1流量）を減少させることで燃料電池10を適正温度範囲に維持することができる。

[0162] 流量調節部7は、第1排ガス流路6に設けられていてもよく、あるいは第2排ガス流路8に設けられていてもよい。

例えば、流量調節部7は、第1排ガス流路6において、図6に示すように上述の分岐点とカソード入口12aとの間に設けられていてもよく、又は、カソード出口12bと煙突126との間に設けられていてもよい。あるいは、流量調節部7は、第2排ガス流路8において、上述の分岐点と化学吸収塔120の入口との間に設けられていてもよい。

[0163] 流量調節部7は、ダンパによって構成されていてもよい。流量調節部7としてダンパを用いることで、簡素な構成により、第1排ガス流路6を介して燃料電池10のカソード12に供給される排ガス流量（第1流量）を調節することができる。

[0164] 幾つかの実施形態では、二酸化炭素回収システム 4（図 6 参照）は、流量調節部 7 を制御するための制御部 5 を備えていてもよい。

以下、制御部 5 による排ガスの流量調節の考え方についてより具体的に説明する。

[0165] 図 8 は、火力発電装置 2 からの排ガスを燃料電池 10 及び化学吸収塔 120 に分配する場合の流量制御の一例を示す概念図である。図 8 に示すように、火力発電装置 2（排ガス発生設備）からの排ガスは、分岐点において分岐して、第 1 排ガス流路 6 を介して燃料電池 10 のカソード 12（図 6 参照）に供給される排ガスと、第 2 排ガス流路 8 を介して化学吸収塔 120 に供給される排ガスとに分配される。

上述したように、第 1 排ガス流路 6 を介してカソード 12 に供給される排ガスの流量（第 1 流量）は、流量調節部 7 によって調節される。ここで、第 2 排ガス流路 8 を介して化学吸収塔 120 に供給される排ガスの流量を第 3 流量とすれば、第 1 流量と第 3 流量との和が、火力発電装置 2 からの排ガスの総流量である。

[0166] なお、二酸化炭素回収システム 4 において、燃料電池 10 は、互いに直列又は並列に配置された複数台の燃料電池ユニット 10a を含んでいてもよい。ここで、燃料電池ユニット 10a とは、それぞれが固有の筐体を有し、独立して燃料電池として機能する単位である。燃料電池 10 を構成する燃料電池ユニット 10a の台数は、燃料電池 10 で処理すべき排ガスの流量又は燃料電池ユニット 10a の容量等に応じて決定されてもよい。

図 8 に示す例では、燃料電池 10 は、「FC-1」～「FC-n」の n 台の燃料電池ユニット 10a が互いに並列配置された構成を有する。そして、複数台の燃料電池ユニット 10a により構成される燃料電池 10 のカソード 12（即ち複数台の燃料電池ユニット 10a のそれぞれのカソード）に対して、全体として第 1 流量の排ガスが供給されるようになっている。

[0167] ここで、図 9 は、排ガス発生設備（火力発電装置 2）の負荷と、制御部 5 によって調節される第 1 流量との関係の一例を示すグラフである。

図9のグラフの横軸は火力発電装置2の負荷（横軸）を示し、負荷100%は、火力発電装置2の定格負荷を意味する。また、図9のグラフにおいて、縦軸は排ガス流量を示し、燃料電池10のカソード12に供給される第1流量、及び、火力発電装置2からの総流量（第1流量と、化学吸収塔120に供給される第3流量の和）について、火力発電装置2の定格運転時（定格負荷での運転時）における排ガス総流量を1としたときの割合が示されている。なお、図9のグラフにおいて、領域S1は、排ガス総流量のうち第1流量の占める部分を示し、領域S2は、排ガス総流量のうち第3流量の占める部分を示す。

[0168] 幾つかの実施形態では、制御部5は、排ガスの発生源である排ガス発生設備（図6に示す例示的な実施形態では、火力発電装置2）の少なくとも一部の負荷範囲において、排ガス発生設備の負荷の大きさによらず、燃料電池10のカソード12に供給される第1流量が一定となるように、流量調節部7を制御する（例えば、ダンパの開度を調節する）ように構成される。

[0169] 一実施形態では、制御部5は、少なくとも、排ガス発生設備（火力発電装置2）の定格負荷よりも低くてゼロよりも大きい閾値以上且つ排ガス発生設備の定格負荷以下の負荷範囲に排ガス発生設備の負荷が含まれるとき、該負荷の大きさによらず、上述の第1流量が燃料電池10の定格負荷に対応する定格流量で一定となるよう流量調節部7を制御するように構成されていてもよい。

例えば、図9のグラフに示すように、火力発電装置2の負荷が、閾値L2以上100%（定格負荷）以下の負荷範囲に含まれるとき、火力発電装置2の負荷の大きさによらず、第1流量が燃料電池10の定格負荷に対応する定格流量 $F R 1_{rated}$ で一定となるように、制御部5が流量調節部7を制御するようにしてもよい。

[0170] 火力発電装置に代表される排ガス発生設備（例えば火力発電装置2）の負荷は一定とは限らず、例えば系統からの要請により負荷が変動することがある（例えば図9のグラフ参照）。この場合、排ガス発生設備からの排ガス発

生量（上述の総流量）も変化し、燃料電池 10 のカソード 12 への排ガス供給量（第 1 流量）もその影響を受けて変化し、燃料電池 10 の安定運転が可能な目標流量から第 1 流量が逸脱してしまう可能性がある。

この点、制御部 5 で流量調節部 7 を適切に制御することにより、少なくとも一部の負荷範囲での排ガス発生設備（火力発電装置 2）の運転時、排ガス発生設備（火力発電装置 2）の負荷の大きさによらず第 1 流量を一定に維持することができる。よって、排ガス発生設備（火力発電装置 2）の負荷が変動しても、燃料電池 10 の安定運転を維持することができる。

例えば、図 9 のグラフに示す例のように、少なくとも排ガス発生設備（火力発電装置 2）の高負荷帯（閾値 L2 以上定格負荷（100%）以下）において、燃料電池 10 を定格負荷で運転することで、燃料電池 10 の安定運転を維持しながら、プラント全体としてのエネルギー効率の低下を抑制できる。

[0171] なお、上述の高負荷帯における第 1 流量の一定値（図 9 の例では定格流量 $FR1_{rated}$ ）は、燃料電池 10 の経時的な状態変化に応じて変化させてもよい。

例えば、燃料電池 10 が劣化して、燃料電池 10 の劣化に起因した電圧低下に伴いアノード - カソード間の電流を減少させる必要が生じた場合、上述の高負荷帯での燃料電池 10 への排ガス供給量（第 1 流量）が上述の定格流量（ $FR1_{rated}$ ）よりも小さい流量で一定となるように、第 1 流量の一定値を設定するようにしてもよい。

このように、上述の高負荷帯における第 1 流量の一定値は、燃料電池 10 の劣化等の状態変化を考慮して、定格流量（ $FR1_{rated}$ ）から変化させた値に設定してもよい。

[0172] 図 9 に示すグラフに従って第 1 流量の調節をする場合、上述の高負荷帯（閾値 L2 以上 100% 以下の負荷範囲）では、総流量と第 1 流量との差分が第 3 流量として化学吸収塔 120 に供給される。すなわち、該負荷範囲では、燃料電池 10 に供給される第 1 流量が一定であるのに対し、化学吸収塔 1

20に供給される第3流量は、負荷の増減に応じて変化する。したがって、上述の高負荷帯では、火力発電装置2の負荷に変動がある場合であっても、該負荷の変動に応じて化学吸収塔120への第3流量を変化させながら、燃料電池10の定格負荷での運転を継続することができる。

よって、例えば、火力発電装置2（排ガス発生設備）の負荷の変動に応じて、燃料電池10の一部（複数台の燃料電池ユニット10aのうちの一部）を一時的に運転停止及び再起動する場合に比べて、燃料電池10の稼働率を向上させることができ、プラント全体として発電コストの増大を抑制することができる。

[0173] なお、燃料電池10に供給される排ガスの第1流量が定格流量以下である場合であっても、ある程度の排ガス供給量が確保できれば、燃料電池10の安定運転が可能である場合がある。そこで、火力発電装置2の負荷が閾値未満であり、排ガス総流量が燃料電池10の定格流量以下である少なくとも一部の負荷範囲において、排ガス総流量の全量を第1流量として燃料電池10に供給するように制御部5による制御を行ってもよい。

[0174] 例えば、火力発電装置2の負荷がL1であるときの排ガス総流量（図9の $FR1_{min}$ ）以上の第1流量が確保できれば、燃料電池10の安定運転が維持できる場合、図9に示すように、火力発電装置2の負荷が、L1以上L2（上述の閾値）未満の負荷範囲であるときに、火力発電装置2からの排ガスの全量を、第1流量として燃料電池10に供給するようにしてもよい。

[0175] これにより、排ガス発生装置（火力発電装置2）のより広範な負荷範囲において燃料電池10での発電を行うことができ、プラント全体としての発電効率を向上させながら、二酸化炭素を回収することができる。

[0176] また、火力発電装置2の起動時等、排ガス発生設備の負荷が小さい時（例えば図9のL1未満の負荷範囲）には、排ガス発生設備からの排ガスの総流量を燃料電池10に供給しても、例えば燃料電池10の安定運転に必要な温度を維持するための熱エネルギー（反応熱）が確保できない等、燃料電池10の安定運転ができない場合がある。このような場合、排ガス発生設備から

の排ガスの総流量の全量を第3流量として、化学吸収塔120に供給するようにしてもよい。これにより、排ガス発生設備（火力発電装置2）の負荷範囲に応じて、適切に二酸化炭素を回収することができる。

[0177] 次に、図6を参照して、幾つかの実施形態に係る二酸化炭素回収システム4の設置方法について説明する。

幾つかの実施形態に係る二酸化炭素回収システム4の設置方法は、火力発電装置2からの排ガスが流れる第1排ガス流路6を設置するステップと、第1排ガス流路6上に燃料電池10のカソード12が配置されるように燃料電池10を設置するステップと、カソード12の上流側において第1排ガス流路6から分岐して第2排ガス流路8を設置するステップと、第2排ガス流路8に、二酸化炭素を吸収液に吸収させるための化学吸収塔120を設置するステップと、を備える。

[0178] 上述の二酸化炭素回収システム4の設置方法によれば、既存の火力発電装置2に対して、第1排ガス流路6、第2排ガス流路8、燃料電池10、及び、化学吸収塔120を追加で設置することによって、上述に説明した二酸化炭素回収システム4を構築することができる。これにより、火力発電装置2からの排ガスを化学吸収塔120と燃料電池10とに分配して両者を併用することで、排ガス流量の変動に対応しつつ、プラント全体としてのエネルギー効率の低下を抑制することができる。

[0179] 一実施形態では、二酸化炭素回収システム4の設置方法は、第1排ガス流路6におけるカソード入口12a側の排ガスと、第1排ガス流路6におけるカソード出口12b側の排ガスとを熱交換するための熱交換器124を第1排ガス流路6上に設置するステップをさらに備えてもよい。

[0180] 上述の熱交換器124を設置することで、例えば火力発電装置等からの比較的低温の排ガスであっても、燃料電池10で生じる反応熱により高温となったカソード出口12b側の排ガスとの熱交換によって昇温した後にカソード12に供給することができる。これにより、燃料電池10で発生した熱エネルギーを有効活用しながら、燃料電池10の適正温度を維持して安定運転

を行うことができる。

[0181] 例えば、排熱回収ボイラを含む火力発電装置 2 からは、通常、蒸気（水）との熱交換により温度が低下した比較的低温の排ガスが排出される。このような場合、二酸化炭素回収システム 4 において、燃料電池 10、化学吸収塔 120、及び、上述の熱交換器 124 を併せて設置することで、燃料電池 10 で発生した熱エネルギーを利用して比較的低温の排ガスを昇温させて、燃料電池 10 の適正温度を維持して安定運転を行うことができるとともに、排ガス流量の変動に対応しつつ、プラント全体としてのエネルギー効率の低下を抑制しながら、排ガス中の二酸化炭素を回収することができる。

[0182] なお、上述の二酸化炭素回収システム 4 の設置方法は、火力発電装置 2 に対して二酸化炭素回収システムを設置する方法であるが、同様の設置方法を、火力発電装置 2 以外の排ガス発生装置を含む種々の排ガス発生設備への二酸化炭素回収システム 4 の設置に適用してもよい。

[0183] [本発明の第 3 の態様]

図 10～図 12 に示す例示的な実施形態では、火力発電装置 2 は、ガスタービン 100 と、ガスタービン 100 からの排ガスの熱を回収するための排熱回収ボイラ 110 と、を含むガスタービン複合発電装置である。これらの実施形態では、二酸化炭素回収システム 4 は、排熱回収ボイラ 110 からの排ガスに含まれる CO_2 を回収するように構成される。

また、図 13～図 15 に示す例示的な実施形態では、火力発電装置 2 は、ガスタービン 100 を含む火力発電装置である。これらの実施形態では、二酸化炭素回収システム 4 は、ガスタービン 100 からの排ガスに含まれる CO_2 を回収するように構成される。

[0184] 図 10～図 15 に示すガスタービン 100 は、空気を圧縮するための圧縮機 102 と、燃料（例えば天然ガス等）を燃焼させて燃焼ガスを発生させるための燃焼器 104 と、燃焼ガスにより回転駆動されるように構成されたタービン 106 と、を備える。

燃焼器 104 には、燃料貯留部 222 から燃料（天然ガス等）が供給され

るようになっている。また、燃焼器 104 には圧縮機 102 で圧縮された空気が送り込まれるようになっており、この圧縮空気は、燃焼器 104 において燃料が燃焼する際の酸化剤としての役割を有する。

タービン 106 には回転シャフト 103 を介して発電機 108 が連結されており、タービン 106 の回転エネルギーによって発電機 108 が駆動されて電力が生成されるようになっている。タービン 106 で仕事を終えた燃焼ガスは、排ガスとしてタービン 106 から排出されるようになっている。

[0185] 図 10～図 12 に示す排熱回収ボイラ 110 は、ガスタービン 100 からの排ガスが導かれるダクト（不図示）と、ダクトに設けられた熱交換器（不図示）と、を備える。熱交換器は、ダクトを流れる排ガスとの熱交換により蒸気を生成するように構成されている。排熱回収ボイラ 110 で生成された蒸気は蒸気タービン 112 に導かれ、蒸気タービン 112 を回転駆動するようになっている。また、蒸気タービン 112 には発電機 114 が接続されており、発電機 114 は、蒸気タービン 112 によって回転駆動されて、電力を生成するようになっている。

排熱回収ボイラ 110 のダクト内を流れて熱交換器を通過した排ガスは、ダクト出口を介して排熱回収ボイラから排出されるようになっている。

[0186] 以下、幾つかの実施形態に係る二酸化炭素回収システム 4 について説明する。

図 10～図 15 に示す例示的な実施形態に係る二酸化炭素回収システム 4 は、火力発電装置 2 又は排熱回収ボイラ 110 からの排ガスが流れるカソード入口側流路 270 と、カソード入口側流路 270 から分岐して設けられたバイパス流路 278 と、を含む。火力発電装置 2 又は排熱回収ボイラ 110 からの排ガスは、分岐点においてカソード入口側流路 270 とバイパス流路 278 とに分岐されて、燃料電池 10 のカソード 12 及び後述する化学吸収塔 230 のそれぞれに供給できるようになっている。

すなわち、第 3 の態様におけるカソード入口側流路 270 及びバイパス流路 278 は、第 1 及の態様における第 1 排ガス流路 6 及び第 2 排ガス流路 8

にそれぞれ相当する。

[0187] 図10～図15に示すように、二酸化炭素回収システム4は、火力発電装置2からの排ガスが供給されるカソード12を含む燃料電池10と、燃料電池10のアノード16の出口側に接続されるCO₂リッチガスライン（アノード出口側流路）228と、CO₂リッチガスライン228に一端が接続されるリサイクルライン252と、を備える。CO₂リッチガスライン228は、アノード16の出口ガス由来のCO₂リッチガスを導くように構成される。また、リサイクルライン252は、CO₂リッチガスライン228を流れるCO₂リッチガスの一部をカソード12の入口側に戻すように構成される。

火力発電装置2からの排ガス中に含まれる二酸化炭素は、以下に説明するように、燃料電池10及びCO₂リッチガスライン228を介して回収されるようになっている。

[0188] 本明細書において、アノードの出口ガス由来のCO₂リッチガスは、アノード出口ガスそのものであってもよいし、アノード出口ガスに対して所定の処理（例えば、後述するCOシフト反応器220でのCOシフト反応やガス分離ユニット236における膜分離等）を行った後のガスであってもよい。なお、CO₂リッチガスは、処理対象である排ガスよりもCO₂濃度が高いガスを指す。

[0189] 燃料電池10は、基本的には上述した本発明の第1の態様における燃料電池10と同様の構成を有する。ただし、第3の態様に係る実施形態では、燃料電池10のカソード12には、カソード入口側流路270を介して火力発電装置2からのCO₂を含む排ガスが供給されるとともに、アノード16には、アノード入口側流路276から水素（H₂）を含む燃料ガスが供給されるようになっている。

[0190] アノード16には、アノード入口側流路276及び燃料供給流路274を介して、燃料（例えば天然ガス）が貯留される燃料貯留部222が接続されている。燃料貯留部222内の燃料は、水素（H₂）に改質されて、アノード入口側流路276を介してアノード16に供給されるようになっている。

例えば、図10～図15に示す例示的な実施形態では、燃料供給流路274に設けられた予備改質器224及び燃料電池10に設けられた改質部18において、燃料が改質されて水素(H₂)が生成される。そして、このように燃料の改質により生成した水素がアノード入口側流路276を介してアノード16に供給されるようになっている。

[0191] アノード16で生成されたCO₂は、H₂O及び燃料ガスの未燃成分(例えばCOやH₂)とともに混合ガス(アノード16の出口ガス)としてCO₂リッチガスライン(アノード出口側流路)228に流出する。CO₂リッチガスライン228に流出したアノード出口ガスは、処理対象である排ガスよりもCO₂濃度が高いCO₂リッチガスである。

[0192] アノード16から排出されたCO₂リッチガスに含まれるCO₂は、CO₂リッチガスライン228を介して回収される。なお、回収されるCO₂(即ち、燃料電池10によりアノード16側に回収されたCO₂)は、圧縮機209で圧縮されるようになっていてもよい。

[0193] ある種の燃料電池(例えば上述した熔融炭酸塩型燃料電池)では、燃料電池の効率的又は安定的な運転のために適したカソード入口ガスのCO₂濃度は、例えば約10%以上である。これに対し、ガスタービンからの排ガス中のCO₂濃度は、燃料の組成にもよるが、例えば3～4%程度である。仮に、ガスタービンからの排ガスを、該ガスタービンの圧縮機に再循環させたとしても、ガスタービンからの排ガス中のCO₂濃度を上昇させる効果はあまり大きくなり、燃料電池のカソード入口ガスとして適する程度にCO₂濃度を上昇させることは難しい。

この点、上述した二酸化炭素回収システム4では、アノード16の出口ガス由来のCO₂リッチガスの一部をカソード12の入口側にリサイクルすることにより、比較的少ないリサイクルガス量であっても、カソード12の入口におけるCO₂濃度を高めることができる。よって、燃料電池10の運転に適切なCO₂濃度を得ることができる。また、カソード12の入口のCO₂濃度が上昇することで、燃料電池10の起電力を増大させて、燃料電池10の発

電効率を向上させることができる。

- [0194] また、上述した二酸化炭素回収システム4では、比較的少ないリサイクルガス量でカソード入口におけるCO₂濃度を高めることができる。よって、例えば特許文献1に記載のように、ガスタービンの排ガスの一部、又はカソード出口を経由したガスを、ガスタービンのコンプレッサの入口に再循環させることでカソード入口のCO₂濃度を上げる場合に比べ、リサイクルするガス量を低減することができる。このため、CO₂リッチガスのリサイクルに必要な動力の削減が可能である。
- [0195] なお、例えば特許文献1に記載のように、ガスタービン燃焼器の排ガスをリサイクルする場合には、ガス中のSO_x分が低温のリサイクルラインで濃縮し、硫酸析出が生じ、熱交換器等の腐食対策でコストが増加する可能性がある。この点、上述の二酸化炭素回収システム4では、硫黄分が低減された排ガスを燃料電池10のカソード12に供給することにより、アノード16の出口由来のガスをカソード12の入口側にリサイクルしても、該リサイクルラインにおいてSO_x分が低減された状態が維持されやすくなる。よって、リサイクルガス中の硫黄分による伝熱管や配管等の腐食を抑制することができる。
- [0196] さらに、例えば特許文献1に記載のように、ガスタービンの排ガスの一部又はカソード出口を経由したガスを、ガスタービンのコンプレッサの入口に再循環させて、カソード入口のCO₂濃度を調整する場合、特にガスタービンが低負荷の場合、燃焼器の温度維持のため、投入燃料を絞るなどの対応が必要となり、結果的にCO₂濃度が上げられない状況が起こりうると考えられる。この点、上述の二酸化炭素回収システム4では、カソード入口のCO₂濃度を上げるために、アノード出口ガスのリサイクルを利用しているため、火力側（ガスタービン100や排熱回収ボイラ110など）の運用状態によらず、カソード入口のCO₂濃度の調整が容易となる。
- [0197] ところで、燃料の改質反応は吸熱反応であり、通常、外部から熱を加える必要がある。そこで、図10～15に示すように、改質部18の上流側に、

燃料供給流路 274 を介して改質部 18 に供給する燃料を昇温させるための熱交換器 226 を設けてもよい。燃料を熱交換器 226 により昇温させてから改質部 18 に供給することで、燃料の改質反応を効率良く行うことができる。

[0198] なお、図 10～図 15 に示す実施形態では、熱交換器 226 は、燃料供給流路 274 から改質部 18 に供給する燃料を、アノード 16 の出口ガス（ CO_2 リッチガス）との熱交換により昇温させるように構成される。

熔融炭酸塩型燃料電池は、約 600°C ～ 700°C 程度の高温で動作し、アノード 16 から流出するガスも同程度の高温を有する。よって、上述の熱交換器 226 によれば、燃料電池 10 で生じる反応熱を有効利用しながら燃料の改質反応を行うことができる。

[0199] また、通常、燃料電池 10 の動作温度は約 600°C ～ 700°C 程度であり、燃料電池 10 の適正な運転状態を維持するためには、燃料電池 10 に供給される排ガスの温度がある程度高いことが望ましい。また、火力発電装置 2 からの排ガス温度は、燃料電池 10 の動作温度よりも低い場合がある。

そこで、幾つかの実施形態では、カソード 12 よりも上流側に設けた熱交換器 280（図 10～図 12 参照）又は燃焼器（例えば後述する燃焼器 250 等；図 11～図 14 参照）により、カソード 12 に供給される排ガス（カソード 12 の入口ガス）を昇温させるようになっていてもよい。

[0200] 図 10～図 12 に示す熱交換器 280 は、カソード 12 からカソード出口側流路 272 に排出されたガス（カソード 12 の出口ガス）との熱交換により、カソード 12 に流入する排ガスを昇温させるように構成されている。なお、熱交換器 280 を通過したカソード 12 の出口ガスは、煙突 239 から外部に排出されるようになっていてもよい。

このように、カソード 12 の入口ガスとカソード 12 の出口ガスとを熱交換する熱交換器 280 を用いることにより、燃料電池 10 で発生した熱エネルギーを有効活用しながら、燃料電池 10 の適正温度を維持して安定運転を行うことができる。

[0201] 幾つかの実施形態では、図10～図15に示すように、CO₂リッチガスライン228には、CO₂リッチガスに含まれるCOを変性させるためのCOシフト反応器220が設けられる。COシフト反応器220は、CO₂リッチガスに含まれるCOを、例えば水(H₂O)との反応により、CO₂に変換するように構成される。

COシフト反応器220によってCOを変成させることにより、COシフト反応器220よりも下流側のCO₂リッチガスライン228のCO₂濃度を、COシフト反応器220の上流側に比べて高めることができる。これにより、より高純度の二酸化炭素を回収することができる。

[0202] 幾つかの実施形態では、CO₂リッチガスライン228には、CO₂リッチガス中のガス成分を分離するためのガス分離ユニット236が設けられている。

ガス分離ユニット236は、該ガス分離ユニット236に供給されるCO₂リッチガスからCO₂を分離するように構成されていてもよい。ガス分離ユニット236によりCO₂リッチガスからCO₂を分離することにより、ガス分離ユニット236よりも下流側のCO₂リッチガスライン228のCO₂濃度を、ガス分離ユニット236の上流側に比べて高めることができる。これにより、より高純度の二酸化炭素を回収することができる。

[0203] 図10～図15に示す例示的な実施形態では、ガス分離ユニット236は、CO₂リッチガスからCO₂を分離するように構成された分離膜237を含む。

幾つかの実施形態では、ガス分離ユニット236は、深冷分離法によってCO₂リッチガスからCO₂を分離するように構成されていてもよい。

また、図10～図15に示すように、CO₂リッチガスライン228において、ガス分離ユニット236の上流側には、CO₂リッチガスを、ガス分離ユニット236で採用される分離手法に適した圧力に昇圧するための圧縮機234が設けられていてもよい。

[0204] 二酸化炭素回収システム4においては、火力発電装置2からの排ガスに含

まれるCO₂を回収するために、上述した燃料電池10及びCO₂リッチガスライン228を介したCO₂回収手段に加え、他のCO₂回収手段を併用してもよい。

例えば、図10～図15に示す例示的な実施形態では、排ガスに含まれるCO₂を吸収液に吸収させるための化学吸収塔230と、化学吸収塔230でCO₂を吸収した吸収液からCO₂を分離するように構成された再生塔232と、を用いて排ガスからCO₂を回収するようになっている。

[0205] 図10～図15に示す実施形態では、火力発電装置2からの排ガスが化学吸収塔230に導かれるようになっている。化学吸収塔230に導かれる排ガスは、カソード入口側流路270及び燃料電池10のカソード12を通過した排ガスを含んでいてもよく（図13～図15参照）、または、燃料電池10のカソードを経ずに、カソード入口側流路270から分岐して設けられたバイパス流路278を通過した排ガスを含んでいてもよい（図10～図15参照）。また、化学吸収塔230に導かれる排ガスは、例えば、図13～図15に示すように、排熱回収ボイラ240において熱が回収された後の排ガスを含んでいてもよい。

[0206] 幾つかの実施形態に係る排熱回収ボイラ240は、上述した火力発電装置2の一部としての排熱回収ボイラ110と同様の構成を有していてもよい。すなわち、幾つかの実施形態では、排熱回収ボイラ240は、火力発電装置2からの排ガスが導かれるダクト（不図示）と、ダクトに設けられた熱交換器（不図示）と、を備える。熱交換器は、ダクトを流れる排ガスとの熱交換により蒸気を生成するように構成されている。排熱回収ボイラ240で生成された蒸気は蒸気タービン242に導かれ、蒸気タービン242を回転駆動するようになっている。また、蒸気タービン242には発電機244が接続されており、発電機244は、蒸気タービン242によって回転駆動されて、電力を生成するようになっている。

図12～図15に示す実施形態では、排熱回収ボイラ110のダクト内を流れて熱交換器を通過した排ガスは、ダクト出口を介して排熱回収ボイラか

ら排出され、化学吸収塔 230 に導かれるようになっている。

[0207] 一実施形態に係る化学吸収塔 230 では、吸収液と、化学吸収塔 230 に導かれた排ガスとを接触させることにより、排ガスに含まれる CO_2 が吸収液に取り込まれるようになっている。これにより、排ガスから CO_2 が除去される。 CO_2 が除去された排ガスは、処理済排ガスとして化学吸収塔 230 の出口 230 a から排出される。

[0208] CO_2 を吸収した吸収液は、化学吸収塔 230 から再生塔 232 に送られて、該再生塔 232 にて再生される。再生塔 232 では、 CO_2 を吸収した吸収液が蒸気によって加熱され、これにより CO_2 が吸収液から分離及び除去される（即ち、吸収液が再生される）。

[0209] 吸収液から除去された CO_2 を含むガスは、再生塔 232 から排出されて、例えば気液分離器（不図示）で水分が除去された後、 CO_2 がガスとして回収される。なお、再生塔 232 から排出された CO_2 （すなわち、化学吸収塔 230 を介して回収された CO_2 ）は、圧縮機 209 で圧縮されるようになっているてもよい。

[0210] 一方、再生塔 232 で CO_2 が除去されて再生された吸収液は化学吸収塔 230 に返送され、再度、火力発電装置 2 からの排ガスに含まれる CO_2 を吸収するために用いられる。

[0211] 化学吸収塔 230 に用いる吸収液は、アミンを含んでもよい。アミンを含む吸収液は、二酸化炭素との高い化学反応性を有する。よって、アミンを含む吸収液を用いることで、排ガスにおける二酸化炭素の分圧が低い場合であっても、二酸化炭素を効果的に回収できる。

アミンを含む吸収液は、例えば、アルカノールアミン（例えばモノエタノールアミン等）の水溶液であってもよい。

[0212] 幾つかの実施形態に係る二酸化炭素回収システム 4 は、さらに、以下の特徴を有する。

[0213] 幾つかの実施形態では、例えば図 11～図 14 に示すように、カソード入口側流路 270 においてカソード 12 の上流側には燃焼器 250 が設けられ

ている。

燃焼器 250 には、CO₂リッチガスライン 228 からリサイクルライン 252 を介してカソード 12 の入口側に戻された CO₂リッチガスが導入され、燃焼器 250 によって該 CO₂リッチガスが燃焼されるようになっている。

なお、燃焼器 250 で燃焼された CO₂リッチガスは、カソード入口側流路 270 を流れる排ガスと合流し、カソード 12 に供給される。

[0214] このように、カソード 12 の入口側に戻された CO₂リッチガス中に含まれる炭素を含有する未燃成分 (CO 等) を燃焼器 250 により燃焼させることで、カソード入口の CO₂濃度をさらに上昇させることができる。

[0215] 燃焼器 250 は、例えば、CO₂リッチガスを燃焼させるためのバーナを含んでいてもよい。

燃焼器 250 としてバーナを用いることにより、簡素な構成で、CO₂リッチガス中に含まれる未燃成分を燃焼させて、カソード入口の CO₂濃度をさらに上昇させることができる。

[0216] あるいは、燃焼器 250 は、反応器と、反応器内に設けられた酸化触媒と、を含む触媒反応器を含んでいてもよい。

燃焼器 250 として酸化触媒を含む触媒反応器を用いることにより、CO₂リッチガス中に含まれる未燃成分を燃焼させて、カソード入口の CO₂濃度をさらに上昇させることができる。

[0217] 幾つかの実施形態では、CO₂リッチガスライン 228 に設けられた上述のガス分離ユニット 236 は、CO₂リッチガスから H₂ (水素) リッチガスを分離するように構成されていてもよい。なお、ガス分離ユニット 236 で分離される H₂ リッチガスは、ガス分離ユニット 236 の上流側における CO₂リッチガス中よりも H₂濃度が高いガスを指す。

[0218] 例えば、図 10 ~ 図 15 に示す実施形態における分離膜 237 (ガス分離ユニット 236) は、供給される CO₂リッチガス中の CO₂を選択的に透過させることにより、CO₂リッチガスから CO₂を分離するようになっていてもよい。そして、CO₂リッチガスから CO₂が分離された残部ガスは、H₂を

比較的多く含むH₂リッチガスとして分離されるようになっていてもよい。

[0219] ガス分離ユニット236でCO₂リッチガスから分離されたH₂リッチガスは、例えば、図12及び図14に示すように、H₂リッチガスライン254を介して、カソード12の上流側に設けられた燃焼器250に供給されるようになっていてもよい。

この場合、燃焼器250で生じるH₂の燃焼熱を利用して、カソード12に流入するカソード入口ガスの温度を効果的に高めることができる。これにより、燃料電池10の適正温度を維持して安定運転を行うことができる。

[0220] 特に、火力発電装置2に含まれる排熱回収ボイラ110（図10～図12参照）からの排ガスは、排熱回収ボイラ110によって熱を回収された後の排ガスであり、温度が比較的低い。そこで、例えば、図12に示すように、カソード12の上流側に設けた燃焼器250での燃焼熱を利用して、カソード12に流入するカソード入口ガスの温度を効果的に高めることができる。

[0221] なお、図示しないが、ガス分離ユニット236でCO₂リッチガスから分離されたH₂リッチガスは、例えば、アノード入口側流路276を介して、燃料電池10での反応に用いられる燃料としてアノード16に供給されるようになっていてもよい。

[0222] 幾つかの実施形態では、例えば図10及び図13に示すように、リサイクルライン252の一端（CO₂リッチガスライン228側の一端）は、燃料電池10のアノード16の下流側かつCOシフト反応器220の上流側においてCO₂リッチガスライン228に接続される。

このように、リサイクルライン252を介してCOシフト反応器220の上流側のCO₂リッチガスをカソード12の入口側に戻すことにより、COシフト反応器220で処理対象となるCO₂リッチガスの量を低減することができる。これにより、COシフト反応にかかるコストを低減しながら、カソード入口におけるCO₂濃度を高めることができる。

[0223] 幾つかの実施形態では、例えば図11及び図14に示すように、COシフト反応器220は、CO₂リッチガスライン228において圧縮機234より

も上流側に設けられ、リサイクルライン 252 の一端は、COシフト反応器 220 の下流側かつ圧縮機 234 の上流側においてCO₂リッチガスライン 228 に接続される。

この場合、COシフト反応器 220 を通過後のより高濃度のCO₂を含むCO₂リッチガスがリサイクルライン 252 を介してカソード 12 の入口側に戻されるので、カソード入口のCO₂濃度をより効果的に上昇させることができる。

[0224] 幾つかの実施形態では、例えば図 12 及び図 15 に示すように、ガス分離ユニット 236 は、CO₂リッチガスから二酸化炭素を分離するための分離膜 237 を含み、リサイクルライン 252 の一端は、分離膜 237 の下流側においてCO₂リッチガスライン 228 に接続される。

この場合、分離膜 237 を通過後のさらに高濃度のCO₂を含むCO₂リッチガスがリサイクルライン 252 を介してカソード 12 の入口側に戻される。よって、カソード入口のCO₂濃度をより効果的に上昇させることができる。

[0225] [本発明の第 4 の態様]

図 16 及び図 17 に示す例示的な実施形態では、火力発電装置 2 は、ガスタービン 100 と、ガスタービン 100 からの排ガスの熱を回収するための排熱回収ボイラ 110 と、を含むガスタービン複合発電装置である。これらの実施形態では、二酸化炭素回収システム 4 は、排熱回収ボイラ 110 からの排ガスに含まれるCO₂を回収するように構成される。

また、図 18 及び図 19 に示す例示的な実施形態では、火力発電装置 2 は、ガスタービン 100 を含む火力発電装置である。これらの実施形態では、二酸化炭素回収システム 4 は、ガスタービン 100 からの排ガスに含まれるCO₂を回収するように構成される。

[0226] 図 16 ~ 図 19 に示すガスタービン 100 は、空気を圧縮するための圧縮機 102 と、燃料（例えば天然ガス等）を燃焼させて燃焼ガスを発生させるための燃焼器 104 と、燃焼ガスにより回転駆動されるように構成されたタ

ービン106と、を備える。

燃焼器104には、燃料貯留部222から燃料（天然ガス等）が供給されるようになっている。また、燃焼器104には圧縮機102で圧縮された空気が送り込まれるようになっており、この圧縮空気は、燃焼器104において燃料が燃焼する際の酸化剤としての役割を有する。

タービン106には回転シャフト103を介して発電機108が連結されており、タービン106の回転エネルギーによって発電機108が駆動されて電力が生成されるようになっている。タービン106で仕事を終えた燃焼ガスは、排ガスとしてタービン106から排出されるようになっている。

[0227] 図16及び図17に示す排熱回収ボイラ110は、ガスタービン100からの排ガスが導かれるダクト（不図示）と、ダクトに設けられた熱交換器（不図示）と、を備える。熱交換器は、ダクトを流れる排ガスとの熱交換により蒸気を生成するように構成されている。排熱回収ボイラ110で生成された蒸気は蒸気タービン112に導かれ、蒸気タービン112を回転駆動するようになっている。また、蒸気タービン112には発電機114が接続されており、発電機114は、蒸気タービン112によって回転駆動されて、電力を生成するようになっている。

排熱回収ボイラ110のダクト内を流れて熱交換器を通過した排ガスは、ダクト出口を介して排熱回収ボイラから排出されるようになっている。

[0228] 以下、幾つかの実施形態に係る二酸化炭素回収システム4について説明する。

図16、図8及び図19に示す例示的な実施形態に係る二酸化炭素回収システム4は、火力発電装置2又は排熱回収ボイラ110からの排ガスが流れるカソード入口側流路270と、カソード入口側流路270から分岐して設けられたバイパス流路278と、を含む。火力発電装置2又は排熱回収ボイラ110からの排ガスは、分岐点においてカソード入口側流路270とバイパス流路278とに分岐されて、燃料電池10のカソード12及び後述する化学吸収塔230のそれぞれに供給できるようになっている。

すなわち、第4の態様におけるカソード入口側流路270及びバイパス流路278は、第1の態様における第1排ガス流路6及び第2排ガス流路8にそれぞれ相当する。

[0229] 図16～図19に示すように、二酸化炭素回収システム4は、火力発電装置2からの排ガスが供給されるカソード12を含む燃料電池10と、燃料電池10のアノード16の出口側に接続されるCO₂リッチガスライン（アノード出口側流路）228と、を備える。CO₂リッチガスライン228は、アノード16の出口ガス由来のCO₂リッチガスを導くように構成される。また、二酸化炭素回収システム4は、CO₂リッチガスライン228を流れるCO₂リッチガスに酸素を供給するための酸素供給部350と、CO₂リッチガスライン228に設けられる酸化反応ユニット354と、を備える。火力発電装置2からの排ガス中に含まれる二酸化炭素は、以下に説明するように、燃料電池10及びCO₂リッチガスライン228を介して回収されるようになっている。

[0230] 本明細書において、アノードの出口ガス由来のCO₂リッチガスは、アノード出口ガスそのものであってもよいし、アノード出口ガスに対して所定の処理（例えば、後述するCOシフト反応器220でのCOシフト反応や分離器336における膜分離等）を行った後のガスであってもよい。なお、CO₂リッチガスは、処理対象である排ガスよりもCO₂濃度が高いガスを指す。

[0231] 燃料電池10は、基本的には上述した本発明の第1の態様における燃料電池10と同様の構成を有する。ただし、第4の態様に係る実施形態では、燃料電池10のカソード12には、カソード入口側流路270を介して火力発電装置2からのCO₂を含む排ガスが供給されるとともに、アノード16には、アノード入口側流路276から水素（H₂）を含む燃料ガスが供給されるようになっている。

[0232] アノード16には、アノード入口側流路276及び燃料供給流路274を介して、燃料（例えば天然ガス）が貯留される燃料貯留部222が接続されている。燃料貯留部222内の燃料は、水素（H₂）に改質されて、アノード

入口側流路 276 を介してアノード 16 に供給されるようになっている。

例えば、図 16～図 19 に示す例示的な実施形態では、燃料供給流路 274 に設けられた予備改質器 224 及び燃料電池 10 に設けられた改質部 18 において、燃料が改質されて水素 (H_2) が生成される。そして、このように燃料の改質により生成した水素がアノード入口側流路 276 を介してアノード 16 に供給されるようになっている。

[0233] アノード 16 で生成された CO_2 は、 H_2O 及び燃料ガスの未反応成分（例えば CO や H_2 ）とともに混合ガス（アノード 16 の出口ガス）として CO_2 リッチガスライン（アノード出口側流路） 228 に流出する。 CO_2 リッチガスライン 228 に流出したアノード出口ガスは、処理対象である排ガスよりも CO_2 濃度が高い CO_2 リッチガスである。

[0234] CO_2 リッチガスライン 228 を流れる CO_2 リッチガスは、酸化反応ユニット 354 における酸化反応によって CO_2 濃度が上昇された後、例えば分離器（不図示）によって水分等が分離されて、 CO_2 が回収されるようになっている。なお、回収される CO_2 （即ち、燃料電池 10 によりアノード 16 側に回収された CO_2 ）は、圧縮機 209 で圧縮されるようになっていてもよい。なお、 CO_2 リッチガスライン 228 における CO_2 リッチガスの処理については、後でより具体的に説明する。

[0235] ところで、燃料の改質反応は吸熱反応であり、通常、外部から熱を加える必要がある。そこで、図 16～4 に示すように、改質部 18 の上流側に、燃料供給流路 274 を介して改質部 18 に供給する燃料を昇温させるための熱交換器 226 を設けてもよい。燃料を熱交換器 226 により昇温させてから改質部 18 に供給することで、燃料の改質反応を効率良く行うことができる。

[0236] なお、図 16～図 19 に示す実施形態では、熱交換器 226 は、燃料供給流路 274 から改質部 18 に供給する燃料を、アノード 16 の出口ガス（ CO_2 リッチガス）との熱交換により昇温させるように構成される。

熔融炭酸塩型燃料電池は、約 $600^{\circ}C$ ～ $700^{\circ}C$ 程度の高温で動作し、ア

ノード16から流出するガスも同程度の高温を有する。よって、上述の熱交換器226によれば、燃料電池10で生じる反応熱を有効利用しながら燃料の改質反応を行うことができる。

[0237] また、通常、燃料電池10の動作温度は約600℃～700℃程度であり、燃料電池10の適正な運転状態を維持するためには、燃料電池10に供給される排ガスの温度がある程度高いことが望ましい。また、火力発電装置2からの排ガス温度は、燃料電池10の動作温度よりも低い場合がある。

そこで、幾つかの実施形態では、カソード12よりも上流側に設けた燃焼器19や熱交換器(364, 280)等により、カソード12に供給される排ガス(カソード12の入口ガス)を昇温させるようになっていてもよい。

[0238] 幾つかの実施形態では、図16～図19に示すように、カソード入口側流路270には燃焼器19が設けられる。燃焼器19は、該燃焼器19において燃料を燃焼させることにより生じる燃焼熱によって、カソード12に供給される排ガス(カソード12の入口ガス)を昇温させるように構成される。燃焼器19には、例えば、燃料貯留部222から燃料が供給されるようになっていてもよい。

[0239] また、幾つかの実施形態では、図16、図17及び図18に示すように、カソード入口側流路270には、カソード12に流入する排ガスを予熱するための熱交換器(364又は280)が設けられる。

[0240] 図16及び図17に示す熱交換器280は、カソード12からカソード出口側流路272に排出されたガス(カソード12の出口ガス)との熱交換により、カソード12に流入する排ガスを昇温させるように構成される。なお、熱交換器280を通過したカソード12の出口ガスは、煙突239から外部に排出されるようになっていてもよい。

このように、カソード12の入口ガスとカソード12の出口ガスとを熱交換する熱交換器280を用いることにより、燃料電池10で発生した熱エネルギーを有効活用しながら、燃料電池10の適正温度を維持して安定運転を行うことができる。

[0241] また、図18に示す熱交換器364は、酸化反応ユニット354よりも下流側においてCO₂リッチガスライン228に設けられており、酸化反応ユニット354を通過後のCO₂リッチガスとの熱交換により、カソード12に流入する排ガスを昇温させるように構成される。

このように、カソード12の入口ガスと、酸化反応ユニット354を通過後のCO₂リッチガスとを熱交換する熱交換器364を用いることにより、酸化反応ユニット354で発生した反応熱を有効活用しながら、燃料電池10の適正温度を維持して安定運転を行うことができる。

[0242] CO₂リッチガスライン228において、酸化反応ユニット354は、酸素供給部350による酸素の供給位置よりも下流側に設けられている。酸化反応ユニット354は、CO₂リッチガスに含まれるH₂又はCOの少なくとも一方と酸素とを反応させるように構成される。

酸素供給部350でCO₂リッチガスに酸素を供給するとともに、酸化反応ユニット354でCO₂リッチガス中のH₂又はCOの少なくとも一方と酸素とを反応させることにより、腐食の原因となり得るH₂又はCOの含有量を低減し、高純度の二酸化炭素を得ることができる。

[0243] 幾つかの実施形態では、酸化反応ユニット354は、酸化触媒反応器を含んでいてもよく、あるいは、バーナ等の燃焼器を含んでいてもよい。

酸化反応ユニット354では、CO₂リッチガスに含まれるH₂又はCOの酸化反応により、水(H₂O)及び／又はCO₂が生成される。よって、酸化反応ユニット354を通過後のCO₂リッチガスは、酸化反応ユニット354の上流側に比べて、H₂濃度及び／又はCO濃度は低く、CO₂濃度は高い。

[0244] 図16～図19に示す例示的な実施形態では、酸素供給部350は、CO₂リッチガスライン228に供給するO₂を製造するための酸素製造装置352を含む。

酸素製造装置352は、例えば、水の電気分解により酸素を製造するように構成されていてもよい。あるいは、酸素製造装置352は、空気から酸素を分離することにより酸素を製造するように構成されていてもよい。空気が

ら酸素を分離する手法としては、例えば、空気に含まれる成分の沸点の違いを利用するASU (Air Separation Unit) 方式、ゼオライト等の吸着剤を用いるPSA (Pressure Swing Adsorption) 方式、又は、膜分離法等を用いることができる。

[0245] 幾つかの実施形態では、酸素供給部350は、純酸素をCO₂リッチガスライン228に注入するように構成される。純酸素は、例えば、酸素濃度が95%以上又は98%以上の酸素含有ガスである。

酸素供給部350から純酸素をCO₂リッチガスライン228に供給することにより、酸化反応ユニット354により得られる二酸化炭素の純度をさらに向上させることができる。

[0246] 幾つかの実施形態では、酸素供給部350は、CO₂リッチガスライン228への酸素の供給量を、CO₂リッチガスに含まれるH₂及びCOの完全酸化当量以下に制限するように構成される。

CO₂リッチガスラインへの酸素供給量が完全酸化当量以下に制限されることにより、酸化反応ユニット354における酸化反応において酸素の全量が消費されやすくなり、酸化反応ユニット354の下流側におけるCO₂リッチガスの酸素含有量を低減することができる。これにより、酸化反応ユニット354の下流側における配管等の腐食を抑制することができる。

[0247] 幾つかの実施形態では、二酸化炭素回収システム4は、酸素供給位置よりも上流側のCO₂リッチガスライン228を流れるCO₂リッチガス中のH₂又はCOの濃度に基づいて、CO₂リッチガスラインへの酸素の供給量を調節するコントローラ (調節部) 360を含む。

[0248] 例えば、図17～図19に示す例示的な実施形態では、CO₂リッチガスライン228には、酸素供給部350による酸素供給位置よりも上流側に、CO₂リッチガス中のH₂又はCOの濃度を検出するための濃度センサ358が設けられている。また、酸素製造装置352とCO₂リッチガスライン228との間には、酸素製造装置352からCO₂リッチガスライン228への酸素の供給量を調節するための流量調節弁356が設けられている。そしてコン

トローラ 360 は、濃度センサ 358 の検出結果に基づいて、流量調節弁 356 の開度を制御するように構成されている。

[0249] このように、コントローラ 360 によって、酸化反応ユニット 354 に導入される CO_2 リッチガスへの酸素供給量を適切に調節することができ、これにより、 CO_2 リッチガス中の H_2 又は CO の含有量を効果的に低減し、高純度の二酸化炭素を得ることができる。

[0250] 幾つかの実施形態では、例えば図 17 及び図 18 に示すように、 CO_2 リッチガスライン 228 には、酸素供給部 350 による酸素の供給位置よりも上流側において、分離器 336 が設けられる。分離器 336 は、 CO_2 リッチガスから CO_2 以外の不純物ガス（例えば H_2 又は CO 等）を分離するように構成される。

[0251] 酸素供給位置よりも上流側において、分離器 336 によって CO_2 以外の不純物ガスの大部分を予め除去することにより、酸化反応ユニット 354 における H_2 又は CO の酸化反応に必要な酸素量を減らすことができる。よって、低コストで高純度の二酸化炭素を得ることができる。

[0252] 分離器 336 は、 CO_2 及び CO_2 以外の成分（例えば H_2 又は CO ）を含むアノード 16 の出口ガス（ CO_2 リッチガス）から、 CO_2 を選択的に透過させて分離するように構成された分離膜（ CO_2 分離膜）を含んでいてもよい。あるいは、分離器 336 は、深冷分離法によってアノード 16 の出口ガスから CO_2 を分離するように構成されていてもよい。

また、 CO_2 リッチガスライン 228 において、分離器 336 の上流側には、アノード 16 の出口ガス（ CO_2 リッチガス）を、分離器 336 で採用される分離手法に適した圧力に昇圧するための圧縮機 234 が設けられていてもよい。

[0253] なお、分離器 336 では、アノード 16 の出口ガス（ CO_2 リッチガス）から水素が分離されるようになっていてもよい。図 17 及び図 18 に示すように、分離器 336 で分離された水素は、アノード入口側流路 276 を介して、燃料電池 10 での反応に用いられる燃料としてアノード 16 に供給される

ようになってもよい。

- [0254] 幾つかの実施形態では、例えば図17及び図19に示すように、CO₂リッチガスライン228には、酸素供給部350による酸素の供給位置よりも上流側において、CO₂リッチガスに含まれるCOを変性させるためのCOシフト反応器220が設けられる。COシフト反応器220は、アノード16の出口ガス（CO₂リッチガス）に含まれるCOを、例えば水（H₂O）との反応によりCO₂に変換するように構成されていてもよい。
- [0255] 酸素供給位置よりも上流側において、COシフト反応器220によってCOを変成させることにより、CO₂リッチガス中のCO含有量を減少させて、酸化反応ユニット354におけるCOの酸化反応に必要な酸素量を減らすことができる。よって、低コストで高純度の二酸化炭素を得ることができる。
- [0256] 幾つかの実施形態では、CO₂リッチガスライン228には、酸化反応ユニット354よりも下流側において、酸化反応ユニット354を通過後のCO₂リッチガスの排熱を回収するための熱交換器（例えば、図16及び図19に示す熱交換器362、又は、上述した図18に示す熱交換器364等）が設けられる。
- [0257] 酸化反応ユニット354での酸化反応により温度が上昇したCO₂リッチガスの排熱を熱交換器（362、364）により回収するので、回収した熱を有効利用して、プラント全体としてのエネルギー効率の低下を抑制しながらCO₂回収を効果的に行うことができる。
- [0258] 例えば、図18に示す例示的な実施形態では、CO₂リッチガスライン228において酸化反応ユニット354よりも下流側に設けられた熱交換器364は、上述したように、CO₂リッチガスとの熱交換により、カソードに流入する前の排ガスを予熱するように構成される。
- [0259] また、幾つかの実施形態では、図16及び図19に示すように、CO₂リッチガスライン228において酸化反応ユニット354よりも下流側に設けられた熱交換器362は、CO₂リッチガスとの熱交換により蒸気を生成するように構成される。

このように生成された蒸気は様々な用途に適用することができ、例えば、圧縮機又は発電機に接続されたタービンを駆動するために該タービンに供給してもよく、燃料の改質に用いるために予備改質器 224 等に供給してもよい。あるいは、熱交換器 362 で生成された蒸気は、図 16 及び図 19 に示すように、以下に説明する化学吸収塔 230 で用いられる吸収液を再生するための再生塔 232 に供給されるようになっていてもよい。

[0260] 二酸化炭素回収システム 4 においては、火力発電装置 2 からの排ガスに含まれる CO_2 を回収するために、上述した燃料電池 10 及び CO_2 リッチガスライン 228 を介した CO_2 回収手段に加え、他の CO_2 回収手段を併用してもよい。

例えば、図 16、図 18 及び図 19 に示す例示的な実施形態では、排ガスに含まれる CO_2 を吸収液に吸収させるための化学吸収塔 230 と、化学吸収塔 230 で CO_2 を吸収した吸収液から CO_2 を分離するように構成された再生塔 232 と、を用いて排ガスから CO_2 を回収するようになっている。

[0261] 図 16、図 18 及び図 19 に示す実施形態では、火力発電装置 2 からの排ガスが化学吸収塔 230 に導かれるようになっている。化学吸収塔 230 に導かれる排ガスは、カソード入口側流路 270 及び燃料電池 10 のカソード 12 を通過した排ガスを含んでいてもよく（図 18 及び図 19 参照）、または、燃料電池 10 のカソードを経ずに、カソード入口側流路 270 から分岐して設けられたバイパス流路 278 を通過した排ガスを含んでいてもよい（図 16、図 18 及び図 19 参照）。また、化学吸収塔 230 に導かれる排ガスは、例えば、図 18 及び図 19 に示すように、排熱回収ボイラ 240 において熱が回収された後の排ガスを含んでいてもよい。

[0262] 幾つかの実施形態に係る排熱回収ボイラ 240 は、上述した火力発電装置 2 の一部としての排熱回収ボイラ 110 と同様の構成を有していてもよい。すなわち、幾つかの実施形態では、排熱回収ボイラ 240 は、火力発電装置 2 からの排ガスが導かれるダクト（不図示）と、ダクトに設けられた熱交換器（不図示）と、を備える。熱交換器は、ダクトを流れる排ガスとの熱交換

により蒸気を生成するように構成されている。排熱回収ボイラ 240 で生成された蒸気は蒸気タービン 242 に導かれ、蒸気タービン 242 を回転駆動するようになっている。また、蒸気タービン 242 には発電機 244 が接続されており、発電機 244 は、蒸気タービン 242 によって回転駆動されて、電力を生成するようになっている。

図 18 及び図 19 に示す実施形態では、排熱回収ボイラ 110 のダクト内を流れて熱交換器を通過した排ガスは、ダクト出口を介して排熱回収ボイラから排出され、化学吸収塔 230 に導かれるようになっている。

[0263] 一実施形態に係る化学吸収塔 230 では、吸収液と、化学吸収塔 230 に導かれた排ガスとを接触させることにより、排ガスに含まれる CO_2 が吸収液に取り込まれるようになっている。これにより、排ガスから CO_2 が除去される。 CO_2 が除去された排ガスは、処理済排ガスとして化学吸収塔 230 の出口 230 a から排出される。

[0264] CO_2 を吸収した吸収液は、化学吸収塔 230 から再生塔 232 に送られて、該再生塔 232 にて再生される。再生塔 232 では、 CO_2 を吸収した吸収液が蒸気によって加熱され、これにより CO_2 が吸収液から分離及び除去される（即ち、吸収液が再生される）。

ここで、上述したように、図 16 及び図 19 に示す実施形態では、吸収液を再生するための蒸気として、 CO_2 リッチガスライン 228 において酸化反応ユニット 354 よりも下流側に設けられた熱交換器 362 で生成された蒸気が再生塔 232 に供給されるようになっている。また、図 18 に示す実施形態では、吸収液を再生するための蒸気として、排熱回収ボイラ 240 で生成された蒸気の少なくとも一部が再生塔 232 に供給されるようになっている。

[0265] 吸収液から除去された CO_2 を含むガスは、再生塔 232 から排出されて、例えば気液分離器（不図示）で水分が除去された後、 CO_2 がガスとして回収される。なお、再生塔 232 から排出された CO_2 （すなわち、化学吸収塔 230 を介して回収された CO_2 ）は、圧縮機 209 で圧縮されるようになって

いてもよい。

[0266] 一方、再生塔 232 で CO_2 が除去されて再生された吸収液は化学吸収塔 230 に返送され、再度、火力発電装置 2 からの排ガスに含まれる CO_2 を吸収するために用いられる。

[0267] 化学吸収塔 230 に用いる吸収液は、アミンを含んでいてもよい。アミンを含む吸収液は、二酸化炭素との高い化学反応性を有する。よって、アミンを含む吸収液を用いることで、排ガスにおける二酸化炭素の分圧が低い場合であっても、二酸化炭素を効果的に回収できる。

アミンを含む吸収液は、例えば、アルカノールアミン（例えばモノエタノールアミン等）の水溶液であってもよい。

[0268] 以上、第 4 の態様について説明したが、第 4 の態様において、火力発電装置 2 と、火力発電装置 2 からの排ガスから CO_2 を回収する二酸化炭素回収システム 4 との組み合わせは、図示した組み合わせに限定されない。例えば、幾つかの実施形態に係る火力発電設備 1 は、図 16 及び図 17 に示すガスタービン 100 及び排熱回収ボイラ 110 を含む火力発電装置 2（ガスタービン複合発電装置）と、図 18 又は図 19 に示す二酸化炭素回収システム 4 とを含んでいてもよい。あるいは、幾つかの実施形態に係る火力発電設備 1 は、図 18 及び図 19 に示すガスタービン 100 を含む火力発電装置 2 と、図 16 又は図 17 に示す二酸化炭素回収システム 4 とを含んでいてもよい。

[0269] [本発明の第 5 の態様]

図 20、図 21、図 24、及び図 25 に示す実施形態では、火力発電装置 2 は、ガスタービン 100 を含む。ガスタービン 100 は、基本的には第 1 の態様におけるガスタービンと同様の構成を有するが、

燃焼器 104 には、燃料貯留部 222（図 24 及び図 25 において図示略）から燃料（天然ガス等）が供給されるようになっている。

[0270] 以下、幾つかの実施形態に係る二酸化炭素回収システム 4 について説明する。

図 20～図 24 に示す例示的な実施形態に係る二酸化炭素回収システム 4

は、火力発電装置 2 からの排ガスが流れるカソード入口側流路 410 と、カソード入口側流路 410 から分岐して設けられたバイパス流路 420 と、を含む。火力発電装置 2 からの排ガスは、分岐点においてカソード入口側流路 410 とバイパス流路 428 とに分岐されて、燃料電池 10 のカソード 12 及び後述する排熱回収ボイラ 240 又は化学吸収塔 230 のそれぞれに供給できるようになっている。

すなわち、第 5 の態様におけるカソード入口側流路 410 及びバイパス流路 428 は、第 1 の態様における第 1 排ガス流路 6 及び第 2 排ガス流路 8 にそれぞれ相当する。

[0271] 図 20～図 25 に示すように、二酸化炭素回収システム 4 は、火力発電装置 2 からの排ガスが供給されるカソード 12 を含む燃料電池ユニット 404 と、火力発電装置 2 からの排ガスから二酸化炭素を分離するための二酸化炭素分離ユニット 405 と、を備える。二酸化炭素分離ユニット 405 は、燃料電池ユニット 404 の作動排熱により生成された蒸気を用いて、排ガスから CO_2 を分離するように構成されている。

二酸化炭素分離ユニット 405 で分離された CO_2 は、例えば圧縮機 409 (図 24 及び図 25 において図示略) で圧縮されて、回収されるようになっている。

[0272] 燃料電池ユニット 404 は、基本的には上述した本発明の第 1 の態様における燃料電池 10 と同様の構成を有する。ただし、第 5 の態様に係る実施形態では、燃料電池ユニット 404 のカソード 12 には、カソード入口側流路 410 を介して火力発電装置 2 からの CO_2 を含む排ガスが供給されるとともに、アノード 16 には、アノード入口側流路 414 から水素 (H_2) を含む燃料ガスが供給されるようになっている。燃料電池ユニット 404 は、後述する燃焼器 19 及び CO シフト反応器 220 を備えていてもよい。

[0273] アノード入口側流路 414 (図 24 及び図 25 において図示略) には、燃料供給流路 418 を介して、燃料 (例えば天然ガス) が貯留される燃料貯留部 222 が接続されている。燃料貯留部 222 内の燃料は、水素 (H_2) に改

質されて、アノード入口側流路414を介してアノード16に供給されるようになっている。

例えば、図20～図23に示す例示的な実施形態では、燃料供給流路418に設けられた予備改質器224及び燃料電池10に設けられた改質部18において、燃料が改質されて水素(H₂)が生成される。そして、このように燃料の改質により生成した水素がアノード入口側流路414を介してアノード16に供給されるようになっている。

[0274] アノード16で生成されたCO₂は、H₂O及び燃料ガスの未反応成分（例えばCOやH₂）とともに混合ガス（アノード16の出口ガス）としてアノード出口側流路416（図24及び図25において図示略）に流出する。アノード出口側流路416には分離器336が設けられており、分離器336によって、アノード16の出口ガスからCO₂が分離される。分離器336によって分離されたCO₂（すなわち、燃料電池10によりアノード16側に回収されたCO₂）は、圧縮機409で圧縮されるようになっていてもよい。

[0275] 幾つかの実施形態では、分離器336は、アノード16の出口ガスからCO₂を分離するように構成されたCO₂分離膜を含んでいてもよい。

あるいは、幾つかの実施形態では、分離器336は、深冷分離法によってアノード16の出口ガスからCO₂を分離するように構成されていてもよい。

また、アノード出口側流路416において、分離器336の上流側には、アノード16の出口ガスを、分離器336で採用される分離手法に適した圧力に昇圧するための圧縮機234が設けられていてもよい。

[0276] アノード出口側流路416に設けられた上述の分離器336では、アノード16の出口ガスから水素が分離されるようになっていてもよい。図20～図23に示すように、分離器336で分離された水素は、アノード入口側流路414を介して、燃料電池10での反応に用いられる燃料としてアノード16に供給されるようになっていてもよい。

[0277] また、幾つかの実施形態では、図20～図23に示すように、アノード出口側流路416において、アノード16の下流側かつ分離器336及び圧縮

機 2 3 4 の上流側に、アノード 1 6 の出口ガスに含まれる CO を変性させるための CO シフト反応器 2 2 0 が設けられていてもよい。CO シフト反応器 2 2 0 は、アノード 1 6 の出口ガスに含まれる CO を、例えば水 (H₂O) との反応により、CO₂ に変換するように構成されていてもよい。

[0278] ところで、燃料の改質反応は吸熱反応であり、通常、外部から熱を加える必要がある。そこで、図 2 0 ~ 2 3 に示すように、改質部 1 8 の上流側に、燃料供給流路 4 1 8 を介して改質部 1 8 に供給する燃料を昇温させるための熱交換器 2 2 6 を設けてもよい。燃料を熱交換器 2 2 6 により昇温させてから改質部 1 8 に供給することで、燃料の改質反応を効率良く行うことができる。

[0279] なお、図 2 0 ~ 図 2 3 に示す実施形態では、熱交換器 2 2 6 は、燃料供給流路 4 1 8 から改質部 1 8 に供給する燃料を、アノード 1 6 の出口ガスとの熱交換により昇温させるように構成される。

熔融炭酸塩型燃料電池は、約 6 0 0 °C ~ 7 0 0 °C 程度の高温で動作し、アノード 1 6 から流出するガスも同程度の高温を有する。よって、上述の熱交換器 2 2 6 によれば、燃料電池 1 0 で生じる反応熱を有効利用しながら燃料の改質反応を行うことができる。

[0280] 幾つかの実施形態では、図 2 0 ~ 図 2 3 に示すように、カソード入口側流路 4 1 0 には燃焼器 1 9 が設けられる。燃焼器 1 9 は、該燃焼器 1 9 において燃料を燃焼させることにより生じる燃焼熱によって、カソード 1 2 に供給される排ガス (カソード 1 2 の入口ガス) を昇温させるように構成される。

[0281] また、幾つかの実施形態では、図 2 2 及び図 2 3 に示すように、カソード入口側流路 4 1 0 には、カソード 1 2 に流入する排ガスを予熱するための再生熱交換器 8 0 が設けられる。再生熱交換器 8 0 は、カソード 1 2 からカソード出口側流路 4 1 2 に排出されたガス (カソード 1 2 の出口ガス) の少なくとも一部との熱交換により、カソード 1 2 に流入する排ガスを昇温させるように構成される。

[0282] 通常、燃料電池 1 0 の動作温度は約 6 0 0 °C ~ 7 0 0 °C 程度であり、燃料

電池 10 の適正な運転状態を維持するためには、燃料電池 10 に供給される排ガスの温度がある程度高いことが望ましい。また、火力発電装置 2 からの排ガス温度は、燃料電池 10 の動作温度よりも低い場合がある。そこで、カソード 12 よりも上流側に設けた燃焼器 19 及び／又は再生熱交換器 80 によってカソード 12 に流入する排ガスを昇温させることにより、燃料電池 10 で発生した熱エネルギーを有効活用しながら、燃料電池 10 の適正温度を維持して安定運転を行うことができる。

- [0283] なお、図 22 及び図 23 に示すように、カソード 12 に流入する排ガスとの熱交換を終えて再生熱交換器 80 から流出したカソード 12 の出口ガスは、煙突 239 から外部に排出されるようになっていてもよい。
- [0284] 二酸化炭素分離ユニット 405 は、上述したように、燃料電池ユニット 404 の作動排熱により生成された蒸気を用いて、火力発電装置 2 からの排ガスから CO_2 を分離するように構成される。
- [0285] 幾つかの実施形態では、図 20 及び図 22～図 25 に示すように、二酸化炭素分離ユニット 405 は、排ガスに含まれる CO_2 を吸収液に吸収させるための化学吸収塔 230（図 24 及び図 25 において図示略）と、化学吸収塔 230 で CO_2 を吸収した吸収液から CO_2 を分離するように構成された再生塔 232 と、を含む。再生塔 232 には、第 1 蒸気供給ライン 407 を介して、吸収液からの CO_2 の分離に用いられる蒸気が供給される。
- [0286] また、幾つかの実施形態では、図 21 に示すように、二酸化炭素分離ユニット 405 は、アノード 16 の出口ガスから CO_2 を分離するように構成された CO_2 分離膜 337（上述した分離器 336）を含む。 CO_2 分離膜 337 の上流側には、第 2 蒸気供給ライン 408 を介して、アノード 16 の出口ガスを加湿するための蒸気が供給される。
- [0287] そして、図 20～図 25 に示すように、上述の二酸化炭素分離ユニット 405 における再生塔 232（図 20 及び図 22～図 25 に示す実施形態）又は CO_2 分離膜 337 の上流側（図 21 に示す実施形態）には、第 1 蒸気供給ライン 407 又は第 2 蒸気供給ライン 408 を介して、燃料電池ユニット 4

04の作動排熱により生成された蒸気が供給されるようになっている。

[0288] ここで、幾つかの実施形態に係る化学吸収塔230及びCO₂分離膜337を含む二酸化炭素分離ユニット405によるCO₂分離について説明する。

[0289] 図20及び図22～図25に示す例示的な実施形態では、火力発電装置2からの排ガスが化学吸収塔230（図24及び図25において図示略）に導かれるようになっている。化学吸収塔230に導かれる排ガスは、カソード入口側流路410及び燃料電池10のカソード12を通過した排ガスを含んでいてもよく（図20及び図24参照）、又は、燃料電池10のカソード12を経ずに、カソード入口側流路410から分岐したバイパス流路（420, 421）を通過した排ガスを含んでいてもよい（図20及び図22～図24参照）。また、化学吸収塔230に導かれる排ガスは、例えば図20、図22及び図24に示すように、後述する排熱回収ボイラ240において熱が回収された後の排ガスを含んでいてもよい。

[0290] 一実施形態に係る化学吸収塔230では、吸収液と、上述の排ガスとを接触させることにより、排ガスに含まれるCO₂が吸収液に取り込まれるようになっている。これにより、排ガスからCO₂が除去される。CO₂が除去された排ガスは、処理済排ガスとして化学吸収塔230の出口230aから排出される。

[0291] CO₂を吸収した吸収液は、化学吸収塔230から再生塔232に送られて、該再生塔232にて再生される。再生塔232では、CO₂を吸収した吸収液が、上述した第1蒸気供給ライン407を介して供給される蒸気によって加熱され、これによりCO₂が吸収液から分離及び除去される。

[0292] 吸収液から除去されたCO₂を含むガスは、再生塔232から排出ライン233（図24及び図25において図示略）に排出され、例えば気液分離器（不図示）で水分が除去された後、CO₂がガスとして回収される。なお、排出ライン233からのCO₂（すなわち、化学吸収塔230により回収されたCO₂）は、圧縮機409で圧縮されるようになっていてもよい。

[0293] 一方、再生塔232でCO₂が除去されて再生された吸収液は化学吸収塔2

30に返送され、再度、火力発電装置2からの排ガスに含まれるCO₂を吸収するために用いられる。

[0294] 化学吸収塔230に用いる吸収液は、アミンを含んでいてもよい。アミンを含む吸収液は、二酸化炭素との高い化学反応性を有する。よって、アミンを含む吸収液を用いることで、排ガスにおける二酸化炭素の分圧が低い場合であっても、二酸化炭素を効果的に回収できる。

アミンを含む吸収液は、例えば、アルカノールアミン（例えばモノエタノールアミン等）の水溶液であってもよい。

[0295] 図21に示す例示的な実施形態では、火力発電装置2からの排ガスに含まれるCO₂に由来するCO₂（燃料電池10のアノード16で生成されるCO₂）を含むアノード16の出口ガスが、CO₂分離膜337に供給される。

[0296] 幾つかの実施形態に係るCO₂分離膜337は、該CO₂分離膜337の前後の圧力の差（例えばCO₂分圧の差）を利用して、CO₂及びCO₂以外の成分（例えばH₂又はCO）を含むアノード16の出口ガスから、CO₂を選択的に透過させて分離するように構成される。

[0297] CO₂分離膜337の上流側には、第2蒸気供給ライン408を介して蒸気が供給されるようになっており、CO₂分離膜337には、該蒸気により加湿されたアノード16の出口ガスが導入されるようになっている。これにより、処理対象のアノード16の出口ガスの湿度を、CO₂分離膜337の安定作動に適した湿度とすることができ、CO₂分離膜337によるアノード16の出口ガスからのCO₂の分離を安定して行うことができる。

[0298] 幾つかの実施形態では、CO₂分離膜337は、CO₂分子ゲート膜を用いた分離膜であってもよい。

[0299] 図21に示す実施形態では、第2蒸気供給ライン408は、アノード16の出口ガスを昇圧させるための圧縮機234の下流側及びCO₂分離膜337の上流側において、アノード16の出口ガスに蒸気を混入させるようになっている。これにより、CO₂分離膜337の運転に適したアノード出口ガスの圧力を得やすくなるとともに、蒸気混入等による圧縮機234のエロージョ

ンを抑制することができる。

[0300] また、図21に示す実施形態では、第2蒸気供給ライン408は、COシフト反応器220の下流側かつCO₂分離膜337の上流側において、アノード16の出口ガスに蒸気を混入させるようになっている。これにより、アノード出口ガスに含まれるCOがCOシフト反応器220でCO₂に変成されてからアノード出口ガスがCO₂分離膜337に供給されるので、CO₂回収効率を向上させることができる。

[0301] 以上説明したように、二酸化炭素分離ユニット405では、蒸気を用いて排ガスからCO₂が分離されるようになっている。二酸化炭素分離ユニット405に供給される蒸気、すなわち、燃料電池ユニット404の作動排熱により生成される蒸気は、以下に説明するように、カソード12の出口ガスの排熱、COシフト反応器220の排熱、又は、カソード12の上流側又は下流側に設けられる燃焼ユニット（図20～図23に示す実施形態では燃焼器19）における燃焼熱により生成される蒸気であってもよい。

[0302] 幾つかの実施形態では、図20～図25に示すように、二酸化炭素回収システム4は、燃料電池ユニット404のカソード12から排出されるガス（カソード12の出口ガス）を含むガスとの熱交換により蒸気を生成するための第1熱交換器406（図24及び図25に示す実施形態では、後述する排熱回収ボイラ240の熱交換器（68、70a～70f、72a～72f、74a～74b）の少なくとも1つ）を備える。そして、二酸化炭素分離ユニット405には、第1熱交換器406で生成された蒸気が供給され、この蒸気を用いて火力発電装置2からの排ガスからCO₂が回収されるようになっている。

[0303] 例えば、図20～図22、図24、及び図25に示す例示的な実施形態では、上述の第1熱交換器406は、カソード12の出口ガスを含むガスとの熱交換により蒸気を生成するように構成された排熱回収ボイラ240の熱交換器である。排熱回収ボイラ240は、少なくともカソード出口側流路412に連通するダクト53（図24参照）を含み、ダクト53には、カソード

12の出口ガスを含むガスが導かれるようになっていてもよい。また、上述の第1熱交換器406はダクト53内に設けられており、排熱回収ボイラ240の第1熱交換器406で生成された蒸気が、蒸気供給ライン442（第1蒸気供給ライン407又は第2蒸気供給ライン408）を介して、二酸化炭素分離ユニット405に供給されるようになっていてもよい。

[0304] なお、図20、図21及び図24に示すように、排熱回収ボイラ240には、カソード入口側流路410から分岐したバイパス流路420が接続されていてもよく、火力発電装置2からの排ガスは、燃料電池10のカソード12を経ずに、該バイパス流路420を介してダクト53に導かれるようになっていてもよい。

そして、図20に示すように、排熱回収ボイラ240を経由して化学吸収塔230に導かれる排ガスは、カソード12の出口ガスであってもよく、又は、バイパス流路420から導かれる排ガスであってもよく、あるいは、これらの両方であってもよい。

[0305] 図21、図24、及び図25に示すように、排熱回収ボイラ240から排出される排ガスの少なくとも一部は、煙突239から外部に排出されるようになっていてもよい。

[0306] なお、図20～図25に示す実施形態において、火力発電装置2からの排ガスのうち、カソード入口側流路410及び／又はバイパス流路（420，421）を流れる排ガスの流量は、流量調節部438によって調節されるようになっていてもよい。

図20～図24に示すように、流量調節部438は、カソード入口側流路410とバイパス流路（420，421）との分岐点の下流側に設けられていてもよい。また、流量調節部438は、図24に示すように、排熱回収ボイラ240のダクト53内に設けられていてもよい。

流量調節部438は、カソード入口側流路410、バイパス流路（420，421）、又は排熱回収ボイラ240のダクト53内に設けられたダンパであってもよい。

- [0307] 図23に示す例示的な実施形態では、上述の第1熱交換器406は、カソード出口側流路412において再生熱交換器80よりも下流側に設けられ、再生熱交換器80を通過後のカソード12の出口ガスとの熱交換により蒸気を生成するための熱交換器82である。熱交換器82（第1熱交換器406）で生成された蒸気は、蒸気供給ライン96（第1蒸気供給ライン407）を介して、再生塔232（二酸化炭素分離ユニット405）に供給されるようになっている。
- [0308] なお、図23に示すように、再生塔232において吸収液の再生のために供給された蒸気が凝縮することにより生成した水が、再生塔232から流路98を介して熱交換器82に導入され、該熱交換器82でカソード12の出口ガスと熱交換されて蒸気が生成されるようになっていてもよい。
- [0309] 幾つかの実施形態では、図20～図22に示すように、二酸化炭素回収システム4において、COシフト反応器220の下流側に、アノード16の出口ガスとの熱交換により蒸気を生成するための第2熱交換器84が設けられる。そして、二酸化炭素分離ユニット405には、第2熱交換器84で生成された蒸気が供給され、この蒸気を用いて火力発電装置2からの排ガスからCO₂が回収されるようになっている。
- [0310] 例えば、図20～22に示す例示的な実施形態では、第2熱交換器84でアノード16の出口ガスとの熱交換により生成された蒸気は、第3蒸気供給ライン92を介して、二酸化炭素分離ユニット405に供給されるようになっている。
- [0311] なお、図20及び図22に示すように、再生塔232において吸収液の再生のために供給された蒸気が凝縮することにより生成した水が、再生塔232から流路90を介して第2熱交換器84に導入され、該第2熱交換器84でアノード16の出口ガスと熱交換されて蒸気が生成されるようになっていてもよい。
- [0312] 幾つかの実施形態では、二酸化炭素回収システム4において、カソード12の上流側又は下流側に、カソード12の入口ガス又は出口ガスの温度を上

昇させるための燃焼ユニット（例えば図20～図23における燃焼器19）が設けられる。燃焼ユニットは、アノード16の出口ガス又は該出口ガスからCO₂を取り除いたガスを燃焼させることにより、カソード12の入口ガス又は出口ガスを昇温させるように構成される。そして、上述の燃焼ユニットでの燃焼熱により昇温されたカソード12の入口ガス又は出口ガスの排熱を用いて、二酸化炭素分離ユニット405に供給する蒸気が生成される。すなわち、燃焼ユニットにおける燃焼熱（燃料電池ユニット404の作動排熱の一種）を用いて、二酸化炭素分離ユニット405に供給する蒸気が生成されるようになっている。

[0313] 例えば、図20～図23に示す実施形態では、カソード12の上流側に、カソード12の入口ガスを昇温させるための燃焼器19が設けられている。燃焼器19には、アノード16の下流側に設けられた分離器336において、アノード16の出口ガスからCO₂が分離された、未燃成分（例えばH₂又はCO）を含むガスを、図示しない流路を介して、分離器336から燃焼器19に導くようになっていてもよい。また、燃焼器19では、このようにして分離器336から導かれたガスを燃焼させることにより、カソード12の入口ガスを昇温させるようになっていてもよい。そして、第1熱交換器406では、燃焼器19での燃焼熱により昇温されたカソード12の入口ガスに由来するカソード12の出口ガスとの熱交換により蒸気が生成され、該蒸気が第1蒸気供給ライン407又は第2蒸気供給ライン408を介して二酸化炭素分離ユニット405に供給されるようになっていてもよい。

[0314] 以上に説明した二酸化炭素回収システム4によれば、燃料電池ユニット404により、発電しながらCO₂の回収が可能であるため、CO₂回収に伴うプラント全体としてのエネルギー効率の低下を抑制することができる。また、燃料電池ユニット404の作動排熱を利用して生成した蒸気を用いて、二酸化炭素分離ユニット405により、CO₂を排ガスから分離するようにしたので、プラント全体としてのエネルギー効率の低下を抑制しながらCO₂回収を効果的に行うことができる。

- [0315] 幾つかの実施形態では、二酸化炭素回収システム4において、燃料電池ユニット404の作動排熱により生成された燃料改質蒸気を用いて、アノード16に供給される燃料が改質されるように構成される。
- [0316] 例えば、図20～図22に示すように、排熱回収ボイラ240の熱交換器（上述の第1熱交換器406と同一の熱交換器であってもよい）において、カソードの出口ガスを含むガスとの熱交換により蒸気が生成され、燃料改質蒸気として該蒸気が第4蒸気供給ライン94を介して予備改質器224に供給されるようになっていてもよい。
- [0317] また、例えば、図20～図23に示すように、COシフト反応器220の下流側に設けられた熱交換器86において、アノード16の出口ガスとの熱交換により蒸気が生成され、燃料改質蒸気として該蒸気が第4蒸気供給ライン94を介して予備改質器224に供給されるようになっていてもよい。
- [0318] ここで、図24及び図25を参照して、幾つかの実施形態に係る排熱回収ボイラ240についてより具体的に説明する。なお、図20、図22及び図23に示す排熱回収ボイラ240は、図24又は図25に示す排熱回収ボイラ240と同様の構成を有していてもよい。
- [0319] 上述したように、排熱回収ボイラ240には、火力発電装置2を構成するガスタービン100からの排ガスが、カソード入口側流路410及び／又はバイパス流路420を介して導かれるようになっている。
- 排熱回収ボイラ240は、カソード入口側流路410及び／又はバイパス流路420に接続されるダクト53を有し、ダクト53の内部を排ガスが流通するようになっている。
- [0320] 図24に示す排熱回収ボイラ240において、ダクト53内部の上流側領域は、隔壁52によって、カソード入口側流路410から排ガスが導かれる第1部分56と、バイパス流路420から排ガスが導かれる第2部分58とに隔てられている。そして、ダクト53の第1部分に燃料電池10のカソード12が配置され、カソード入口側流路410からの排ガスがカソード12に供給されるようになっている。また、カソード12出口から流出した排ガ

スは、カソード12の下流側のダクト53の第1部分56に導かれるようになっている。

そして、隔壁52よりも下流側において、燃料電池10のカソード12を経由した第1部分56からの排ガスと、カソード12を経由せずにバイパスした第2部分58からの排ガスとが合流するようになっている。

[0321] 図24に示す排熱回収ボイラ240では、カソード入口側流路410及び／又はバイパス流路420における排ガスの流量を調節するための流量調節部438としてのダンパが、ダクト53内の第2部分58に設けられている。なお、他の実施形態では、上述の流量調節部438（例えばダンパ）は、ダクト53内の第1部分56に設けられていてもよい。

[0322] 図25に示す排熱回収ボイラ240では、カソード入口側流路410からダクト53内部に排ガスが導かれるようになっている。また、ダクト53内部の上流側領域に燃料電池10のカソード12が配置されており、カソード入口側流路410からの排ガスがカソード12に供給されるようになっている。カソード12出口から流出した排ガスは、カソード12の下流側のダクト53内部に導かれるようになっている。

[0323] 排熱回収ボイラ240は、高圧蒸気流路69、中圧蒸気流路71、低圧蒸気流路73を含む蒸気循環流路と、これらの各蒸気流路に設けられた熱交換器（68、70a～70f、72a～72f、74a～74b）と、を含む。これらの熱交換器を構成する伝熱管は、ダクト53内を通過するように設けられる。伝熱管の内部を蒸気が循環しており、伝熱管の内部を流通する蒸気と、ダクト53内を流れる排ガス（熱媒体）とが熱交換されるようになっている。

なお、上述の熱交換器（68、70a～70f、72a～72f、74a～74b）は、例えば、節炭器、蒸発器、過熱器、又は再熱器等であってもよい。

[0324] 高圧蒸気流路69、中圧蒸気流路71、低圧蒸気流路73には、それぞれ、各蒸気流路からの蒸気によって駆動されるように構成された高圧タービン

60、中圧タービン62、及び低圧タービン64が設けられている。すなわち、高圧蒸気流路69、中圧蒸気流路71、及び低圧蒸気流路73は、それぞれ、熱交換器（68、70a～70f、72a～72f、74a～74b）で排ガスとの熱交換によりカソード12の出口ガスを含む排ガスから回収した排熱により生成されるタービン駆動用蒸気を蒸気タービン（高圧タービン60、中圧タービン62、及び低圧タービン64）に供給するためのタービン蒸気供給ラインである。

[0325] 各蒸気タービン60、62、64には発電機61、63、65が接続されており、発電機61、63、65は、各蒸気タービンによって回転駆動されて、電気を生成するようになっている。

[0326] 図24及び図25に示すように、高圧タービン60及び中圧タービン62仕事を終えた蒸気は、それぞれ、中圧蒸気流路71及び低圧蒸気流路73にそれぞれ合流し、再度熱交換器により昇温されて、中圧タービン62及び低圧タービン64をそれぞれ駆動する蒸気として、各タービンに流入するようになっているもよい。

[0327] 低圧タービン64の出口から流出した蒸気は、復水器66で凝縮された後、熱交換器68を経て、再度蒸気となって、高圧蒸気流路69、中圧蒸気流路71、又は低圧蒸気流路73に送られる。

[0328] 二酸化炭素回収システム4において、上述の排熱回収ボイラ240のダクト53内に設けられた複数の熱交換器（68、70a～70f、72a～72f、74a～74b）の少なくとも1つは、二酸化炭素回収システム4の第1熱交換器406である。

例えば、図24及び図25に示す実施形態では、ダクト53内において燃料電池10のカソード12よりも下流側に設けられた熱交換器のうち少なくとも1つが第1熱交換器406である。図24に示す実施形態では、カソード12よりも下流側に設けられた熱交換器（68、70a～70e、72a～72e、74a～74b）のうち少なくとも1つが第1熱交換器406である。また、図25に示す実施形態では、カソード12よりも下流側に設け

られた熱交換器（68、70a～70c、70e、72a～72c、72e、74a～74b）のうち少なくとも1つが第1熱交換器406である。

[0329] 幾つかの実施形態では、第1熱交換器406である熱交換器（68、70a～70f、72a～72f、74a～74b）で生成された蒸気が蒸気供給ライン442を介して、二酸化炭素分離ユニット405に供給されるようになっている。

[0330] 蒸気供給ライン442は、排熱回収ボイラ240における第1熱交換器406よりも下流側において、高圧蒸気流路69、中圧蒸気流路71、又は低圧蒸気流路73から分岐するように設けられていてもよい。

例えば、図24及び図25に示す実施形態では、低圧蒸気が流れる低圧蒸気流路73から分岐して蒸気供給ライン442が設けられている。そして、第1熱交換器406としての熱交換器（68、70a～70f、72a～72f、74a～74b）で生成された蒸気が、蒸気供給ライン442を介して上述の再生塔232に（二酸化炭素分離ユニット405）に供給されるようになっている。

[0331] 図24及び図25に示す例示的な実施形態では、蒸気供給ライン442には、低圧蒸気流路73において、中圧タービン62よりも下流側及び低圧タービン64よりも上流側の部分から分岐して設けられている。ここで、低圧蒸気流路73において中圧タービン62よりも下流側を流れる低圧蒸気には、高圧タービン60及び中圧タービン62でそれぞれの蒸気タービンを駆動した後の蒸気（タービン駆動用蒸気）が含まれる。よって、図24及び図25に示す実施形態では、再生塔232（二酸化炭素分離ユニット405）には、蒸気タービンを駆動後のタービン駆動用蒸気が蒸気供給ライン442を介して供給されるようになっている。

このように、蒸気タービン（高圧タービン60、中圧タービン62、又は低圧タービン64）を駆動後のタービン駆動用蒸気を二酸化炭素分離ユニット405に供給してCO₂分離に利用することで、プラント全体としてエネルギーを有効活用することができる。

- [0332] なお、蒸気供給ライン442は、高圧蒸気流路69、中圧蒸気流路71又は低圧蒸気流路73において蒸気タービン（高圧タービン60、中圧タービン62、又は低圧タービン64）よりも上流側から分岐するように設けられていてもよく、第1熱交換器406としての熱交換器（68、70a~70f、72a~72f、74a~74b）で生成された蒸気のうち、蒸気タービン（高圧タービン60、中圧タービン62、及び低圧タービン64）を駆動していない蒸気（高圧タービン60、中圧タービン62、及び低圧タービン64の何れにも流入していない蒸気）を二酸化炭素分離ユニット405に供給するように構成されていてもよい。
- [0333] 幾つかの実施形態では、図24及び図25に示すように、燃料電池ユニット404のカソード12は、排熱回収ボイラ240のダクト53内における排ガスの流れ方向において、複数の熱交換器（68、70a~70f、72a~72f、74a~74b）のうち、隣り合う一対の熱交換器間にてダクト53内に設けられる。
- [0334] 例えば、図24に示す実施形態では、ダクト53内において、排ガス流れ方向において互いに隣り合うように設けられた熱交換器70fと熱交換器70eとの間に、燃料電池ユニット404のカソード12が設けられている。また、図25に示す実施形態では、ダクト53内において、排ガス流れ方向において互いに隣り合うように設けられた熱交換器70dと熱交換器70eまたは72eとの間に、燃料電池ユニット404のカソード12が設けられている。
- [0335] このように、カソード12の上流側に位置する熱交換器（図24における熱交換器70f、図25における熱交換器70d）において、カソード12への流入前において排ガスの排熱の一部を回収することにより、カソード出口の排ガス温度が高くなりすぎることを防止して、燃料電池10や排熱回収ボイラ240（例えばダクト53）の耐久性を確保しながら、燃料電池ユニット404によりCO₂回収を行うことができる。
- [0336] なお、火力発電装置2の排ガスが導かれる排熱回収ボイラ240のダクト

53は、一続きのダクト管によって構成されていてもよく、あるいは、それぞれ内部に熱交換器が設けられる2以上のダクト管を連通させたものであってもよい。例えば、複数の熱交換器が内部に設けられた既存のダクト管に、内部に熱交換器及び燃料電池10のカソード12が配置された別のダクト管を接続してダクト53を構成するようしてもよい。

[0337] 幾つかの実施形態では、二酸化炭素回収システム4は、ガスタービン100の排ガスの熱を回収した蒸気を前記燃料電池ユニット404の作動排熱で更に昇温するように構成される。

[0338] 例えば、図25に示す例示的な実施形態では、排熱回収ボイラ240の複数の伝熱管は、高圧蒸気流路69上において、カソード12よりも上流側に設けられた熱交換器70dと、カソード12よりも下流側に設けられた熱交換器70eと、を含む。カソード12よりも上流側の熱交換器70dでは、ガスタービン100から排熱回収ボイラ240のダクト53に導入された排ガスと、熱交換器70d内を流れる蒸気との熱交換により、ガスタービン100からの排ガスの熱が蒸気に回収される。また、カソード12よりも下流側の熱交換器70eでは、カソード12から排出された高温のアノード出口ガスと、熱交換器70dで排ガスの熱を回収した後の蒸気との熱交換により、該蒸気がさらに昇温される。

[0339] また、図25に示す例示的な実施形態では、排熱回収ボイラ240の複数の伝熱管は、中圧蒸気流路71上において、カソード12よりも上流側に設けられた熱交換器72dと、カソード12よりも下流側に設けられた熱交換器72eと、を含む。カソード12よりも上流側の熱交換器72dでは、ガスタービン100から排熱回収ボイラ240のダクト53に導入された排ガスと、熱交換器72d内を流れる蒸気との熱交換により、ガスタービン100からの排ガスの熱が蒸気に回収される。また、カソード12よりも下流側の熱交換器72eでは、カソード12から排出された高温のアノード出口ガスと、熱交換器72dで排ガスの熱を回収した後の蒸気との熱交換により、該蒸気がさらに昇温される。

- [0340] このように、ガスタービン100の排熱で予熱した蒸気を燃料電池ユニット404の作動排熱との熱交換によりさらに昇温させるので、より高温の蒸気を得ることができ、プラントの効率を高めることができる。
- [0341] 幾つかの実施形態では、二酸化炭素回収システム4は、燃料電池ユニット404の作動排熱を超臨界圧蒸気に回収するように構成される。
- [0342] 例えば、図24及び図25に示す例示的な実施形態において、高圧蒸気流路69上に設けられた熱交換器(70a~70f)のうち、排熱回収ボイラ240のダクト53においてカソード12よりも下流側に設けられた熱交換器の少なくとも1つ(例えば、図24における熱交換器70e、図25における熱交換器70e)には、超臨界圧の蒸気が流れるようになっていてもよい。この場合、燃料電池10のカソード出口ガスとこれらの熱交換器を流れる超臨界圧蒸気との熱交換により、燃料電池ユニット404の作動排熱が超臨界圧蒸気に回収される。そして、燃料電池ユニット404の作動排熱を回収した超臨界圧蒸気が、高圧タービン60に流入して該高圧タービン60を駆動するようになっている。
- [0343] このように、燃料電池ユニット404の作動排熱を超臨界圧蒸気に回収することにより、燃料電池ユニット404の高温の作動排熱を有効活用して、プラントの効率を高めることができる。
- [0344] なお、図24及び図25には、上述した二酸化炭素回収システム4を備えた火力発電設備1の一例を示したが、本発明はこの例に限定されず、二酸化炭素回収システム4の有無にかかわらず、燃料電池ユニット404の作動排熱を超臨界蒸気に回収するように構成されたプラントに広く及ぶ。すなわち、本発明の幾つかの実施形態に係るプラントは、アノード及びカソードと、前記カソードと前記アノードとの間に設けられる電解質と、を含む燃料電池ユニットを備え、前記燃料電池ユニットの作動排熱を超臨界圧蒸気に回収するように構成される。この場合、燃料電池ユニット404のカソード12を通過後の排ガスと蒸気とを第1熱交換器406において熱交換させることで、燃料電池ユニット404の作動排熱を利用して超臨界圧蒸気を生成しても

よい。こうして生成された超臨界圧蒸気は、上述のとおり、高圧蒸気タービン60を駆動するために使用されてもよい。

[0345] また、本発明は図24及び図25に示した例に限定されず、二酸化炭素回収システム4の有無にかかわらず、ガスタービン100の排ガスの熱を回収した蒸気を燃料電池ユニット404の作動排熱でさらに昇温するようにしたプラントに広く及ぶ。すなわち、本発明の幾つかの実施形態に係るプラントは、ガスタービンと、ガスタービンの排ガスによって駆動される燃料電池ユニットと、前記燃料電池ユニットへの流入前の前記ガスタービンの排ガスと蒸気とを熱交換するための第3熱交換器（図25に示す例では熱交換器70d）と、前記蒸気の流路上において前記第3熱交換器の下流側に設けられ、前記燃料電池ユニットを通過後の前記排ガスと前記第3熱交換器にて昇温された後の前記蒸気とを熱交換させるための第4熱交換器（図25に示す例では熱交換器70e）と、を備える。この場合、第4熱交換器において、超臨界圧蒸気が生成されてもよい。こうして生成された超臨界圧蒸気は、上述のとおり、高圧蒸気タービン60を駆動するために使用されてもよい。

[0346] 以上、本発明の実施形態について説明したが、本発明は上述した実施形態に限定されることはなく、上述した実施形態に変形を加えた形態や、これらの形態を適宜組み合わせた形態も含む。

[0347] 本明細書において、「ある方向に」、「ある方向に沿って」、「平行」、「直交」、「中心」、「同心」或いは「同軸」等の相対的或いは絶対的な配置を表す表現は、厳密にそのような配置を表すのみならず、公差、若しくは、同じ機能が得られる程度の角度や距離をもって相対的に変位している状態も表すものとする。

例えば、「同一」、「等しい」及び「均質」等の物事が等しい状態であることを表す表現は、厳密に等しい状態を表すのみならず、公差、若しくは、同じ機能が得られる程度の差が存在している状態も表すものとする。

また、本明細書において、四角形状や円筒形状等の形状を表す表現は、幾何学的に厳密な意味での四角形状や円筒形状等の形状を表すのみならず、同

じ効果が得られる範囲で、凹凸部や面取り部等を含む形状も表すものとする。

また、本明細書において、一の構成要素を「備える」、「含む」、又は、「有する」という表現は、他の構成要素の存在を除外する排他的な表現ではない。

符号の説明

[0348]	1	火力発電設備
	2	火力発電装置
	4	二酸化炭素回収システム
	5	制御部
	6	第1排ガス流路
	7	流量調節部
	8	第2排ガス流路
	9	排出ライン
	10	燃料電池
	10a	燃料電池ユニット
	12	カソード
	12a	カソード入口
	12b	カソード出口
	14	電解質
	15	アノード入口側流路
	16	アノード
	17	アノード出口側流路
	18	改質部
	19	燃焼器
	20	燃料貯留部
	22	燃料供給流路
	24	燃焼器

26	予備改質器
28	熱交換器
30	CO変成器
32	冷却器
34	圧縮機
36	分離器
40	コンプレッサ
42	蒸気タービン
44	排熱回収ボイラ
44A	第1排熱回収ボイラ
44B	第2排熱回収ボイラ
46	煙突
48	化学吸収塔
48a	出口
50	再生塔
51	蒸気供給路
52	隔壁
53	ダクト
54	煙道
55	ダクト壁
56	第1部分
58	第2部分
60	高圧タービン
61	発電機
62	中圧タービン
63	発電機
64	低圧タービン
65	発電機

- 66 復水器
- 68 熱交換器
- 69 高压蒸気流路
- 70 a ~ 70 f 熱交換器
- 71 中压蒸気流路
- 72 a ~ 72 f 熱交換器
- 73 低压蒸気流路
- 74 a, 74 b 熱交換器
- 76 伝熱管
- 80 再生熱交換器
- 82 熱交換器
- 84 第2熱交換器
- 86 熱交換器
- 90 流路
- 92 第3蒸気供給ライン
- 94 第4蒸気供給ライン
- 96 蒸気供給ライン
- 98 流路
- 100 ガスタービン
- 102 圧縮機
- 103 回転シャフト
- 104 燃焼器
- 106 タービン
- 108 発電機
- 110 排熱回収ボイラ
- 112 蒸気タービン
- 114 発電機
- 120 化学吸収塔

- 1 2 0 a 出口
- 1 2 2 吸収液再生塔
- 1 2 4 熱交換器
- 1 2 6 煙突
- 1 2 8 燃料貯留部
- 1 3 0 燃焼器
- 1 3 2 予備改質器
- 1 3 4 熱交換器
- 1 3 6 圧縮機
- 1 3 8 分離器
- 1 4 0 圧縮機
- 1 4 2 脱硫装置
- 1 4 4 除塵装置
- 1 4 6 アノード入口側流路
- 1 4 8 アノード出口側流路
- 1 5 0 燃料供給流路
- 1 5 2 燃料供給流路
- 2 0 9 圧縮機
- 2 2 0 COシフト反応器
- 2 2 2 燃料貯留部
- 2 2 4 予備改質器
- 2 2 6 熱交換器
- 2 2 8 CO₂リッチガスライン
- 2 3 0 化学吸収塔
- 2 3 0 a 出口
- 2 3 2 再生塔
- 2 3 3 排出ライン
- 2 3 4 圧縮機

- 2 3 6 ガス分離ユニット
- 2 3 7 分離膜
- 2 3 9 煙突
- 2 4 0 排熱回収ボイラ
- 2 4 2 蒸気タービン
- 2 4 4 発電機
- 2 5 0 燃焼器
- 2 5 2 リサイクルライン
- 2 5 4 H₂リッチガスライン
- 2 7 0 カソード入口側流路
- 2 7 2 カソード出口側流路
- 2 7 4 燃料供給流路
- 2 7 6 アノード入口側流路
- 2 7 8 バイパス流路
- 2 8 0 熱交換器
- 3 3 6 分離器
- 3 3 7 CO₂分離膜
- 3 5 0 酸素供給部
- 3 5 2 酸素製造装置
- 3 5 4 酸化反応ユニット
- 3 5 6 流量調節弁
- 3 5 8 濃度センサ
- 3 6 0 コントローラ
- 3 6 2 熱交換器
- 3 6 4 熱交換器
- 4 0 4 燃料電池ユニット
- 4 0 5 二酸化炭素分離ユニット
- 4 0 6 第1熱交換器

- 4 0 7 第 1 蒸気供給ライン
- 4 0 8 第 2 蒸気供給ライン
- 4 0 9 圧縮機
- 4 3 8 流量調節部
- 4 4 2 蒸気供給ライン
- 4 1 0 カソード入口側流路
- 4 1 2 カソード出口側流路
- 4 1 4 アノード入口側流路
- 4 1 6 アノード出口側流路
- 4 1 8 燃料供給流路
- 4 2 0 バイパス流路
- 4 2 1 バイパス流路

請求の範囲

- [請求項1] 燃焼装置を含む設備で発生した排ガスから二酸化炭素を回収するためのシステムであって、
- 前記二酸化炭素を含む前記排ガスが流れる第1排ガス流路と、
- アノードと、前記第1排ガス流路上に設けられて前記第1排ガス流路からの前記排ガスが供給されるカソードと、前記第1排ガス流路からの前記排ガス中に含まれる二酸化炭素由来の炭酸イオンを前記カソードから前記アノードに移動させるように構成された電解質と、を含む燃料電池と、
- 前記カソードをバイパスするように、前記カソードの上流側において前記第1排ガス流路から分岐して設けられる第2排ガス流路と、を備え、
- 前記排ガスの一部を前記第2排ガス流路に導くように構成された二酸化炭素回収システム。
- [請求項2] 前記燃料電池の定格運転時における前記排ガスの処理流量は、前記設備の定格運転時における前記排ガスの全流量よりも小さいことを特徴とする請求項1に記載の二酸化炭素回収システム。
- [請求項3] 前記燃料電池の定格運転時における前記排ガスの処理流量 F_{FC_RATED} は、前記燃焼装置を含む前記設備の30%負荷での運転時における前記排ガスの全流量を F^*_{min} とし、前記設備の80%負荷での運転時における前記排ガスの全流量を F^*_{max} としたとき、
- $$F^*_{min} \leq F_{FC_RATED} \leq F^*_{max}$$
- の関係を満たすことを特徴とする請求項1又は2に記載の二酸化炭素回収システム。
- [請求項4] 前記第1排ガス流路を介して前記カソードに供給される前記排ガスの第1流量を調節するための流量調節部をさらに備えることを特徴とする請求項1乃至3の何れか一項に記載の二酸化炭素回収システム。
- [請求項5] 前記流量調節部を制御するための制御部を備え、

前記制御部は、前記燃焼装置を含む前記設備の少なくとも一部の負荷範囲において、前記設備の負荷の大きさによらず、前記第1流量が前記燃料電池の定格流量で一定となるよう前記流量調節部を制御するように構成されたことを特徴とする請求項4に記載の二酸化炭素回収システム。

[請求項6] 前記流量調節部は、前記第1排ガス流路又は前記第2排ガス流路に設けられたダンパを含み、

前記第1排ガス流路及び前記第2排ガス流路は、少なくとも前記ダンパの設置位置の上流側において、互いに独立して設けられることを特徴とする請求項4又は5に記載の二酸化炭素回収システム。

[請求項7] 前記燃料電池の前記カソードは、前記設備としてのガスタービンの下流側、且つ、前記ガスタービンの排熱を回収するための第1排熱回収ボイラの上流側に設けられ、

前記第2排ガス流路は、前記カソードをバイパスして、前記ガスタービンの排熱を回収するための第2排熱回収ボイラに接続され、

少なくとも前記ガスタービンの定格運転時において、前記ガスタービンの排ガスの一部を前記第2排ガス流路を介して前記第2排熱回収ボイラに導くように構成されたことを特徴とする請求項1乃至6の何れか一項に記載の二酸化炭素回収システム。

[請求項8] 前記第2排熱回収ボイラの下流側において前記第2排ガス流路上に設けられ、前記第2排熱回収ボイラからの前記排ガスに含まれる二酸化炭素を吸収液に吸収させるための化学吸収塔をさらに備え、

前記第1排ガス流路及び前記第2排ガス流路は、前記第1排ガス流路を流れる前記排ガスが、前記第1排熱回収ボイラの下流側において、前記第2排熱回収ボイラから前記化学吸収塔へと前記第2排ガス流路を流れる前記排ガスと混合しないように、互いに独立して設けられることを特徴とする請求項7に記載の二酸化炭素回収システム。

[請求項9] 前記第1排熱回収ボイラ内において最も上流側に位置する第1熱交

換器は、前記第2排熱回収ボイラ内において最も上流側に位置する第2熱交換器よりも高温の熱媒体を熱交換により得るように構成されたことを特徴とする請求項7又は8に記載の二酸化炭素回収システム。

[請求項10]

前記第1排ガス流路を介して前記カソードに供給される前記排ガスの第1流量を調節するための流量調節部を備え、

前記第1排熱回収ボイラおよび前記第2排熱回収ボイラは、
共通の煙道と、

前記共通の煙道のうち少なくとも上流側領域を、前記第1排ガス流路を少なくとも部分的に形成する第1部分と、前記第2排ガス流路を少なくとも部分的に形成する第2部分とに隔てるように前記共通の煙道内に設けられる隔壁と、

を含み、

前記流量調節部は、前記共通の煙道のうち前記第1部分又は前記第2部分の何れかに設けられるダンパを含むことを特徴とする請求項7乃至9の何れか一項に記載の二酸化炭素回収システム。

[請求項11]

前記第2排ガス流路上に設けられ、前記第2排ガス流路を流れる前記排ガスに含まれる二酸化炭素を吸収液に吸収させるための化学吸収塔と、

前記第1排熱回収ボイラ又は前記第2排熱回収ボイラにおいて前記排ガスから回収した熱エネルギーを利用して生成した蒸気により、前記吸収液を加熱して再生するように構成された再生塔と、

をさらに備えることを特徴とする請求項7乃至10の何れか一項に記載の二酸化炭素回収システム。

[請求項12]

少なくとも前記燃料電池により前記アノード側に回収された前記二酸化炭素を圧縮するためのコンプレッサと、

前記コンプレッサを駆動するための蒸気タービンをさらに備え、

前記蒸気タービンは、前記第1排熱回収ボイラ又は前記第2排熱回収ボイラにおいて前記排ガスから回収した熱エネルギーを利用して生

成した蒸気により駆動されるように構成されたことを特徴とする請求項7乃至11の何れか一項に記載の二酸化炭素回収システム。

[請求項13] 前記第2排ガス流路に設けられ、前記第2排ガス流路から供給される前記排ガスに含まれる二酸化炭素を吸収液に吸収させるための化学吸収塔をさらに備えることを特徴とする請求項1乃至6の何れか一項に記載の二酸化炭素回収システム。

[請求項14] 前記吸収液は、アミンを含むことを特徴とする請求項13に記載の二酸化炭素回収システム。

[請求項15] 前記第1排ガス流路における前記カソードの入口側の前記排ガスと、前記第1排ガス流路における前記カソードの出口側の前記排ガスと、を熱交換するための熱交換器をさらに備えることを特徴とする請求項1乃至14の何れか一項に記載の二酸化炭素回収システム。

[請求項16] 前記第1排ガス流路からの前記第2排ガス流路の分岐点の上流側において前記第1排ガス流路に設けられ、前記排ガスに含まれる硫黄分を除去するように構成された脱硫装置をさらに備えることを特徴とする請求項1乃至15の何れか一項に記載の二酸化炭素回収システム。

[請求項17] 前記第1排ガス流路からの前記第2排ガス流路の分岐点の下流側且つ前記カソードの上流側において前記第1排ガス流路に設けられ、前記カソードに供給される前記排ガス中の煤塵を除去するための除塵装置をさらに備えることを特徴とする請求項1乃至16の何れか一項に記載の二酸化炭素回収システム。

[請求項18] 燃烧装置を含む設備である火力発電装置と、
前記火力発電装置からの排ガスに含まれる二酸化炭素を回収するように構成された請求項1乃至17の何れか一項に記載の二酸化炭素回収システムと、
を備えることを特徴とする火力発電設備。

[請求項19] 燃烧装置を含む設備で発生した排ガスから二酸化炭素を回収するための方法であって、

前記二酸化炭素を含む前記排ガスを燃料電池のカソードに供給するステップと、

前記燃料電池の電解質内において、前記排ガス中の前記二酸化炭素由来の炭酸イオンを前記カソードから前記燃料電池のアノードに移動させるステップと、

前記設備の前記排ガスの一部が前記カソードをバイパスするように前記排ガスの前記一部を導くステップと、
を備えることを特徴とする二酸化炭素回収方法。

[請求項20] 前記燃料電池の定格運転時における前記排ガスの処理流量は、前記設備の定格運転時における前記排ガスの全流量よりも小さいことを特徴とする請求項19に記載の二酸化炭素回収方法。

[請求項21] 前記燃料電池の定格運転時における前記排ガスの処理流量 F_{FC_RATED} は、前記設備としての火力発電装置の30%負荷での運転時における前記排ガスの全流量を F^*_{min} とし、前記火力発電装置の80%負荷での運転時における前記排ガスの全流量を F^*_{max} としたとき、

$$F^*_{min} \leq F_{FC_RATED} \leq F^*_{max}$$

の関係を満たすことを特徴とする請求項19又は20に記載の二酸化炭素回収方法。

[請求項22] 前記設備の少なくとも一部の負荷範囲において、前記設備の負荷の大きさによらず、前記カソードに供給される前記排ガスの第1流量を前記燃料電池の定格流量で一定となるように維持するステップをさらに備えることを特徴とする請求項19乃至21の何れか一項に記載の二酸化炭素回収方法。

[請求項23] 前記設備としてのガスタービンからの排ガスのうち前記燃料電池の前記カソードを通過した第1排ガスを第1排熱回収ボイラに導き、該第1排熱回収ボイラにおいて排熱を回収するステップと、

少なくとも前記ガスタービンの定格運転時において、前記ガスタービンの前記排ガスのうち前記カソードをバイパスした第2排ガスを第

2 排熱回収ボイラに導き、該第2 排熱回収ボイラにおいて排熱を回収するステップと、

をさらに備えることを特徴とする請求項1 9乃至2 2の何れか一項に記載の二酸化炭素回収方法。

[請求項24] 前記第2 排熱回収ボイラからの前記第2 排ガスを化学吸収塔に導き、該化学吸収塔において前記第2 排ガスに含まれる二酸化炭素を吸収液に吸収させるステップをさらに備え、

前記化学吸収塔に導かれる前記第2 排ガスに前記第1 排ガスが混合しないように、前記第1 排ガス及び前記第2 排ガスを、それぞれ、互いに独立して設けられた第1 排ガス流路及び第2 排ガス流路により導くことを特徴とする請求項2 3に記載の二酸化炭素回収方法。

[請求項25] 前記二酸化炭素を含む前記排ガスの一部を前記燃料電池の前記カソードに供給するステップと、

前記排ガスの残部を化学吸収塔に導くステップと、

前記化学吸収塔において、前記排ガス中の前記二酸化炭素を吸収液に吸収させるステップと、

を備えることを特徴とする請求項1 9乃至2 2の何れか一項に記載の二酸化炭素回収方法。

[請求項26] 前記吸収液は、アミンを含むことを特徴とする請求項2 5に記載の二酸化炭素回収方法。

[請求項27] 前記カソードの入口側の前記排ガスと、前記カソードの出口側の前記排ガスとを熱交換するステップをさらに備えることを特徴とする請求項1 9乃至2 6の何れか一項に記載の二酸化炭素回収方法。

[請求項28] 前記排ガスの一部と前記排ガスの残部とに前記排ガスを分流するステップと、

分流前における前記排ガスに含まれる硫黄分を除去するステップと、

をさらに備えることを特徴とする請求項1 9乃至2 7の何れか一項に

記載の二酸化炭素回収方法。

[請求項29] 前記カソードの上流側において、前記カソードに供給される前記排ガスの前記一部に含まれる煤塵を除去するステップをさらに備えることを特徴とする請求項19乃至28の何れか一項に記載の二酸化炭素回収方法。

補正された請求の範囲
[2018年3月15日(15.03.2018)国際事務局受理]

- [請求項1] (補正後) 燃焼装置を含む設備で発生した排ガスから二酸化炭素を回収するためのシステムであって、
前記二酸化炭素を含む前記排ガスが流れる第1排ガス流路と、
アノードと、前記第1排ガス流路上に設けられて前記第1排ガス流路からの前記排ガスが供給されるカソードと、前記第1排ガス流路からの前記排ガス中に含まれる二酸化炭素由来の炭酸イオンを前記カソードから前記アノードに移動させるように構成された電解質と、を含む燃料電池と、
前記カソードをバイパスするように、前記カソードの上流側において前記第1排ガス流路から分岐して設けられる第2排ガス流路と、を備え、
前記排ガスの一部を前記第2排ガス流路に導くように構成され、
前記第1排ガス流路を介して前記カソードに供給される前記排ガスの第1流量を調節するための流量調節部をさらに備える
二酸化炭素回収システム。
- [請求項2] 前記燃料電池の定格運転時における前記排ガスの処理流量は、前記設備の定格運転時における前記排ガスの全流量よりも小さいことを特徴とする請求項1に記載の二酸化炭素回収システム。
- [請求項3] 前記燃料電池の定格運転時における前記排ガスの処理流量 F_{FC_RATED} は、前記燃焼装置を含む前記設備の30%負荷での運転時における前記排ガスの全流量を F^*_{min} とし、前記設備の80%負荷での運転時における前記排ガスの全流量を F^*_{max} としたとき、

$$F^*_{min} \leq F_{FC_RATED} \leq F^*_{max}$$
の関係を満たすことを特徴とする請求項1又は2に記載の二酸化炭素回収システム。
- [請求項4] (補正後) 前記設備からの前記排ガスの全流量が前記燃料電池の定格運転時における前記排ガスの処理流量以下である少なくとも一部の

前記設備の負荷範囲において、前記排ガスの全流量が前記第1流量として前記燃料電池に供給されるように構成されたことを特徴とする請求項1乃至3の何れか一項に記載の二酸化炭素回収システム。

[請求項5] (補正後) 前記流量調節部を制御するための制御部を備え、
前記制御部は、前記燃焼装置を含む前記設備の少なくとも一部の負荷範囲において、前記設備の負荷の大きさによらず、前記第1流量が前記燃料電池の定格流量で一定となるよう前記流量調節部を制御するように構成されたことを特徴とする請求項1乃至4の何れか一項に記載の二酸化炭素回収システム。

[請求項6] (補正後) 前記流量調節部は、前記第1排ガス流路又は前記第2排ガス流路に設けられたダンパを含み、
前記第1排ガス流路及び前記第2排ガス流路は、少なくとも前記ダンパの設置位置の上流側において、互いに独立して設けられることを特徴とする請求項1乃至5の何れか一項に記載の二酸化炭素回収システム。

[請求項7] 前記燃料電池の前記カソードは、前記設備としてのガスタービンの下流側、且つ、前記ガスタービンの排熱を回収するための第1排熱回収ボイラの上流側に設けられ、
前記第2排ガス流路は、前記カソードをバイパスして、前記ガスタービンの排熱を回収するための第2排熱回収ボイラに接続され、
少なくとも前記ガスタービンの定格運転時において、前記ガスタービンの排ガスの一部を前記第2排ガス流路を介して前記第2排熱回収ボイラに導くように構成されたことを特徴とする請求項1乃至6の何れか一項に記載の二酸化炭素回収システム。

[請求項8] 前記第2排熱回収ボイラの下流側において前記第2排ガス流路上に設けられ、前記第2排熱回収ボイラからの前記排ガスに含まれる二酸化炭素を吸収液に吸収させるための化学吸収塔をさらに備え、
前記第1排ガス流路及び前記第2排ガス流路は、前記第1排ガス流

路を流れる前記排ガスが、前記第 1 排熱回収ボイラの下流側において、前記第 2 排熱回収ボイラから前記化学吸収塔へと前記第 2 排ガス流路を流れる前記排ガスと混合しないように、互いに独立して設けられることを特徴とする請求項 7 に記載の二酸化炭素回収システム。

[請求項9] 前記第 1 排熱回収ボイラ内において最も上流側に位置する第 1 熱交換器は、前記第 2 排熱回収ボイラ内において最も上流側に位置する第 2 熱交換器よりも高温の熱媒体を熱交換により得るように構成されたことを特徴とする請求項 7 又は 8 に記載の二酸化炭素回収システム。

[請求項10] 前記第 1 排ガス流路を介して前記カソードに供給される前記排ガスの第 1 流量を調節するための流量調節部を備え、

前記第 1 排熱回収ボイラおよび前記第 2 排熱回収ボイラは、
共通の煙道と、

前記共通の煙道のうち少なくとも上流側領域を、前記第 1 排ガス流路を少なくとも部分的に形成する第 1 部分と、前記第 2 排ガス流路を少なくとも部分的に形成する第 2 部分とに隔てるように前記共通の煙道内に設けられる隔壁と、
を含み、

前記流量調節部は、前記共通の煙道のうち前記第 1 部分又は前記第 2 部分の何れかに設けられるダンパを含むことを特徴とする請求項 7 乃至 9 の何れか一項に記載の二酸化炭素回収システム。

[請求項11] 前記第 2 排ガス流路上に設けられ、前記第 2 排ガス流路を流れる前記排ガスに含まれる二酸化炭素を吸収液に吸収させるための化学吸収塔と、

前記第 1 排熱回収ボイラ又は前記第 2 排熱回収ボイラにおいて前記排ガスから回収した熱エネルギーを利用して生成した蒸気により、前記吸収液を加熱して再生するように構成された再生塔と、
をさらに備えることを特徴とする請求項 7 乃至 10 の何れか一項に記載の二酸化炭素回収システム。

[請求項12] 少なくとも前記燃料電池により前記アノード側に回収された前記二

酸化炭素を圧縮するためのコンプレッサと、

前記コンプレッサを駆動するための蒸気タービンをさらに備え、

前記蒸気タービンは、前記第1排熱回収ボイラ又は前記第2排熱回収ボイラにおいて前記排ガスから回収した熱エネルギーを利用して生成した蒸気により駆動されるように構成されたことを特徴とする請求項7乃至11の何れか一項に記載の二酸化炭素回収システム。

[請求項13] 前記第2排ガス流路に設けられ、前記第2排ガス流路から供給される前記排ガスに含まれる二酸化炭素を吸収液に吸収させるための化学吸収塔をさらに備えることを特徴とする請求項1乃至6の何れか一項に記載の二酸化炭素回収システム。

[請求項14] 前記吸収液は、アミンを含むことを特徴とする請求項13に記載の二酸化炭素回収システム。

[請求項15] 前記第1排ガス流路における前記カソードの入口側の前記排ガスと、前記第1排ガス流路における前記カソードの出口側の前記排ガスと、を熱交換するための熱交換器をさらに備えることを特徴とする請求項1乃至14の何れか一項に記載の二酸化炭素回収システム。

[請求項16] 前記第1排ガス流路からの前記第2排ガス流路の分岐点の上流側において前記第1排ガス流路に設けられ、前記排ガスに含まれる硫黄分を除去するように構成された脱硫装置をさらに備えることを特徴とする請求項1乃至15の何れか一項に記載の二酸化炭素回収システム。

[請求項17] 前記第1排ガス流路からの前記第2排ガス流路の分岐点の下流側且つ前記カソードの上流側において前記第1排ガス流路に設けられ、前記カソードに供給される前記排ガス中の煤塵を除去するための除塵装置をさらに備えることを特徴とする請求項1乃至16の何れか一項に記載の二酸化炭素回収システム。

[請求項18] 燃焼装置を含む設備である火力発電装置と、前記火力発電装置からの排ガスに含まれる二酸化炭素を回収するように構成された請求項1乃至17の何れか一項に記載の二酸化炭素回収システムと、

を備えることを特徴とする火力発電設備。

[請求項19] (補正後) 燃焼装置を含む設備で発生した排ガスから二酸化炭素を回収するための方法であって、

前記二酸化炭素を含む前記排ガスを燃料電池のカソードに供給するステップと、

前記燃料電池の電解質内において、前記排ガス中の前記二酸化炭素由来の炭酸イオンを前記カソードから前記燃料電池のアノードに移動させるステップと、

前記設備の前記排ガスの一部が前記カソードをバイパスするように前記排ガスの前記一部を導くステップと、

前記カソードに供給される前記排ガスの第1流量を調節するステップと、

を備えることを特徴とする二酸化炭素回収方法。

[請求項20] 前記燃料電池の定格運転時における前記排ガスの処理流量は、前記設備の定格運転時における前記排ガスの全流量よりも小さいことを特徴とする請求項19に記載の二酸化炭素回収方法。

[請求項21] 前記燃料電池の定格運転時における前記排ガスの処理流量 F_{FC_RATED} は、前記設備としての火力発電装置の30%負荷での運転時における前記排ガスの全流量を F^*_{min} とし、前記火力発電装置の80%負荷での運転時における前記排ガスの全流量を F^*_{max} としたとき、

$$F^*_{min} \leq F_{FC_RATED} \leq F^*_{max}$$

の関係を満たすことを特徴とする請求項19又は20に記載の二酸化炭素回収方法。

[請求項22] 前記設備の少なくとも一部の負荷範囲において、前記設備の負荷の大きさによらず、前記カソードに供給される前記排ガスの第1流量を前記燃料電池の定格流量で一定となるように維持するステップをさらに備えることを特徴とする請求項19乃至21の何れか一項に記載の二酸化炭素回収方法。

[請求項23] 前記設備としてのガスタービンからの排ガスのうち前記燃料電池の

前記カソードを通過した第1排ガスを第1排熱回収ボイラに導き、該第1排熱回収ボイラにおいて排熱を回収するステップと、

少なくとも前記ガスタービンの定格運転時において、前記ガスタービンの前記排ガスのうち前記カソードをバイパスした第2排ガスを第2排熱回収ボイラに導き、該第2排熱回収ボイラにおいて排熱を回収するステップと、

をさらに備えることを特徴とする請求項19乃至22の何れか一項に記載の二酸化炭素回収方法。

[請求項24] 前記第2排熱回収ボイラからの前記第2排ガスを化学吸収塔に導き、該化学吸収塔において前記第2排ガスに含まれる二酸化炭素を吸収液に吸収させるステップをさらに備え、

前記化学吸収塔に導かれる前記第2排ガスに前記第1排ガスが混合しないように、前記第1排ガス及び前記第2排ガスを、それぞれ、互いに独立して設けられた第1排ガス流路及び第2排ガス流路により導くことを特徴とする請求項23に記載の二酸化炭素回収方法。

[請求項25] 前記二酸化炭素を含む前記排ガスの一部を前記燃料電池の前記カソードに供給するステップと、

前記排ガスの残部を化学吸収塔に導くステップと、

前記化学吸収塔において、前記排ガス中の前記二酸化炭素を吸収液に吸収させるステップと、

を備えることを特徴とする請求項19乃至22の何れか一項に記載の二酸化炭素回収方法。

[請求項26] 前記吸収液は、アミンを含むことを特徴とする請求項25に記載の二酸化炭素回収方法。

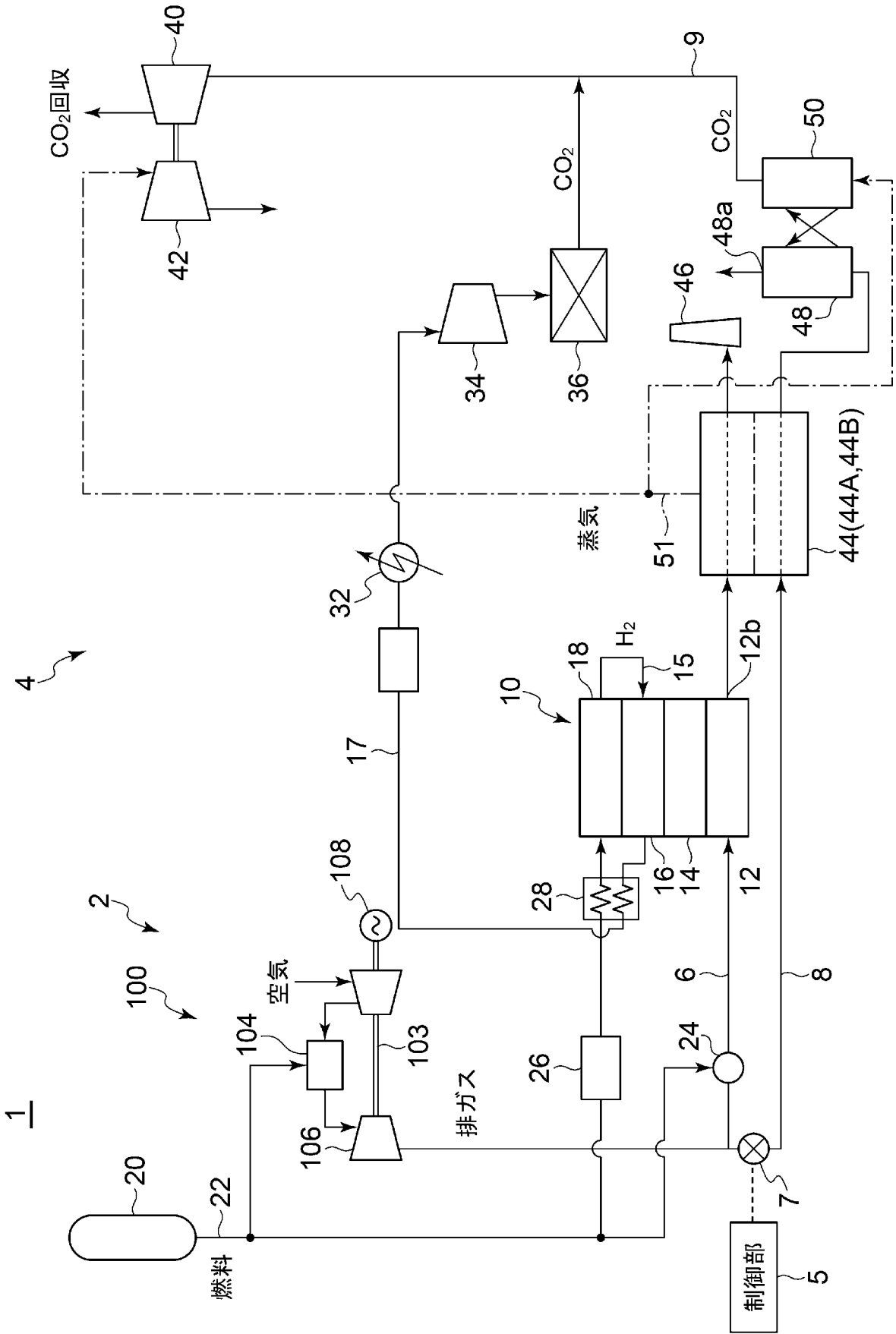
[請求項27] 前記カソードの入口側の前記排ガスと、前記カソードの出口側の前記排ガスとを熱交換するステップをさらに備えることを特徴とする請求項19乃至26の何れか一項に記載の二酸化炭素回収方法。

[請求項28] 前記排ガスの一部と前記排ガスの残部とに前記排ガスを分流するステップと、

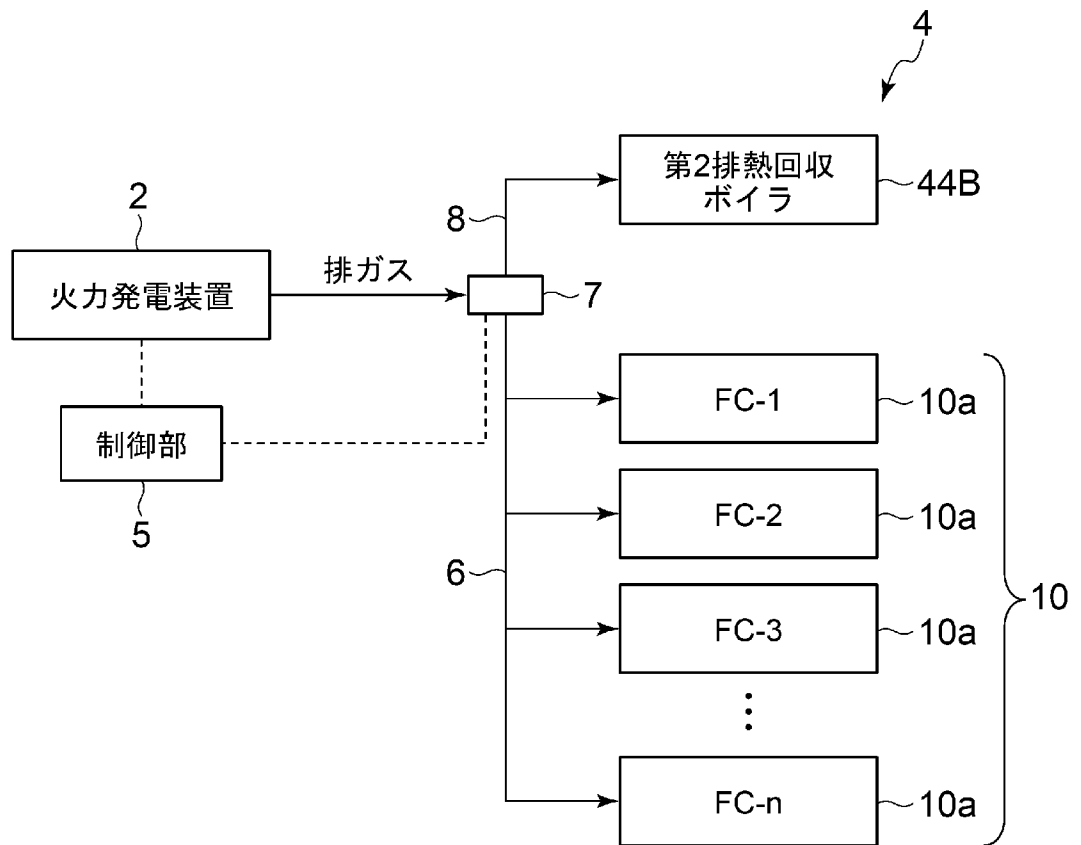
分流前における前記排ガスに含まれる硫黄分を除去するステップと、
をさらに備えることを特徴とする請求項 19 乃至 27 の何れか一項に記載の二酸化炭素回収方法。

[請求項29] 前記カソードの上流側において、前記カソードに供給される前記排ガスの前記一部に含まれる煤塵を除去するステップをさらに備えることを特徴とする請求項 19 乃至 28 の何れか一項に記載の二酸化炭素回収方法。

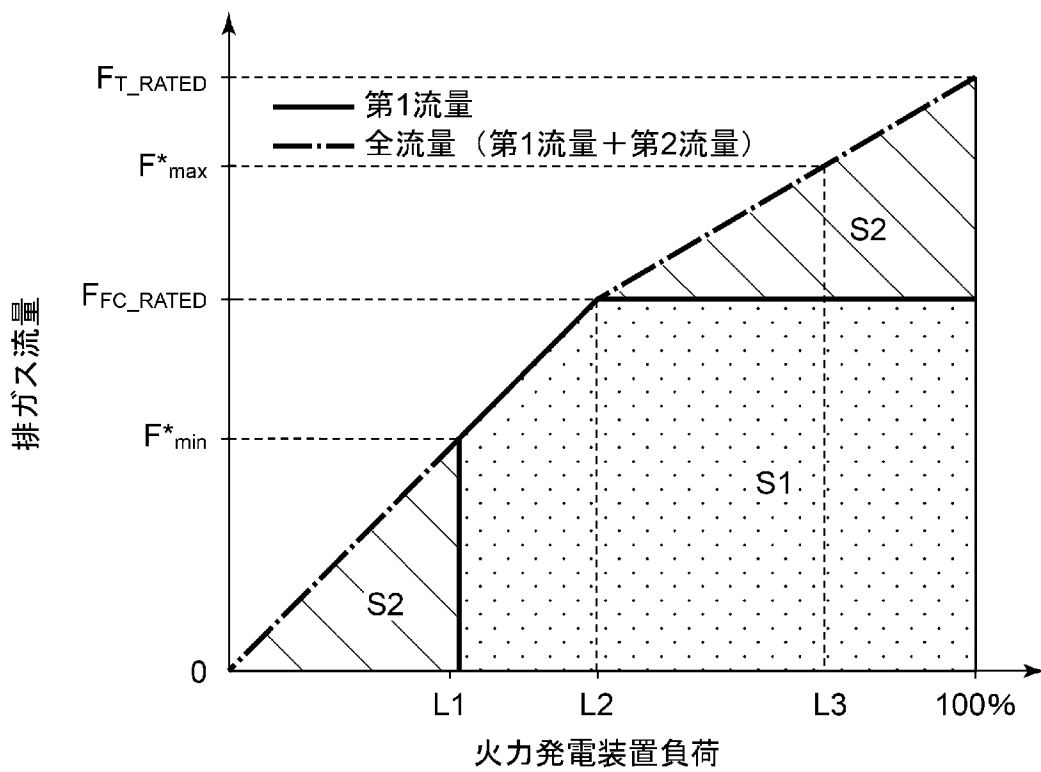
[図1]



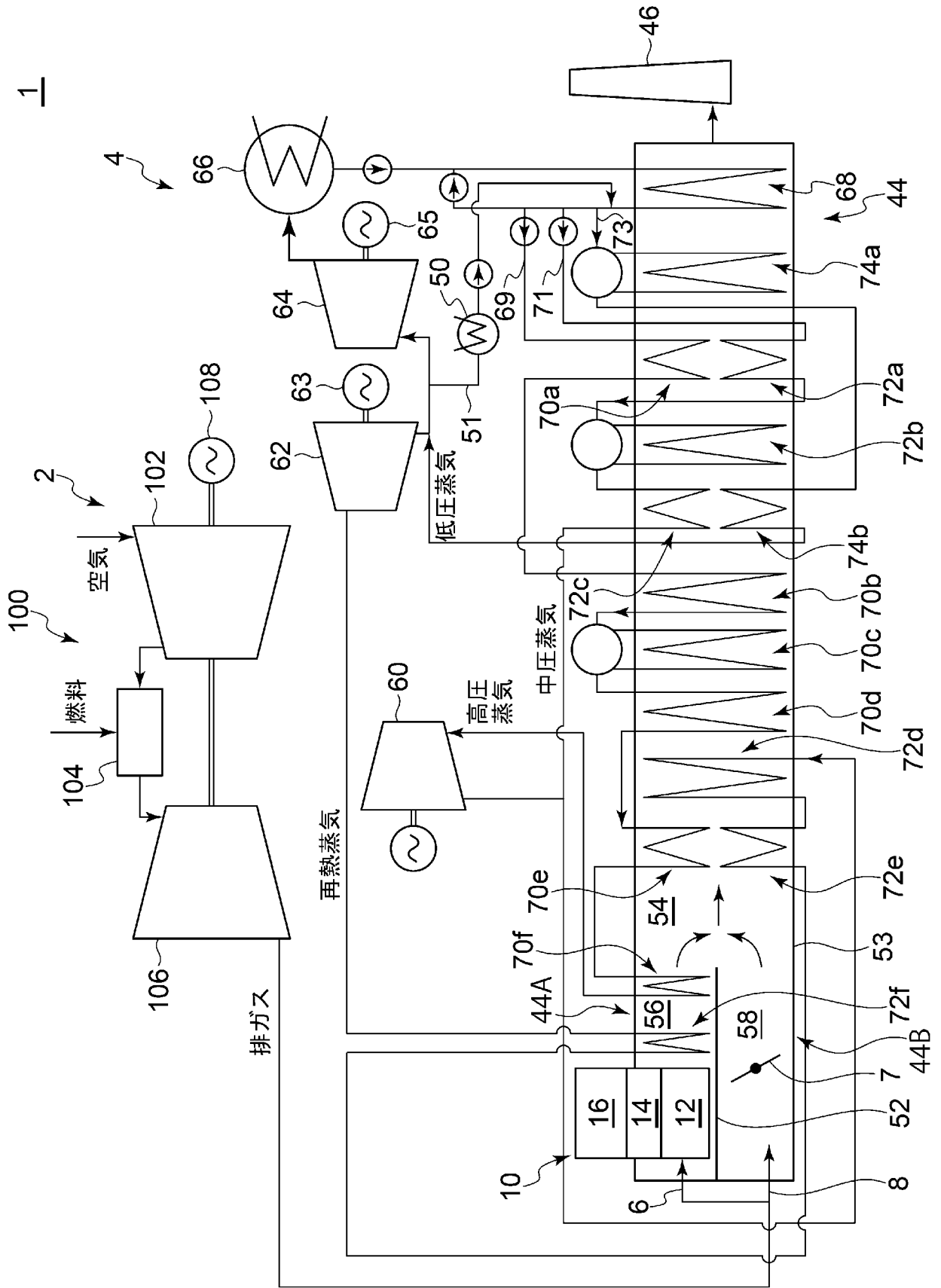
[図2]



[図3]

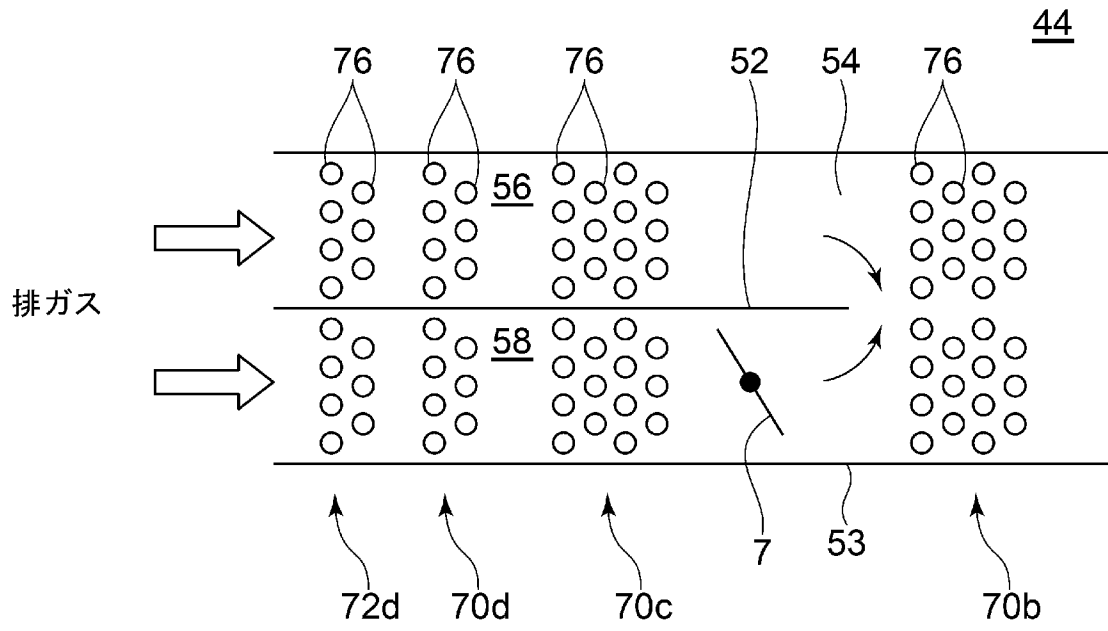


[図4]

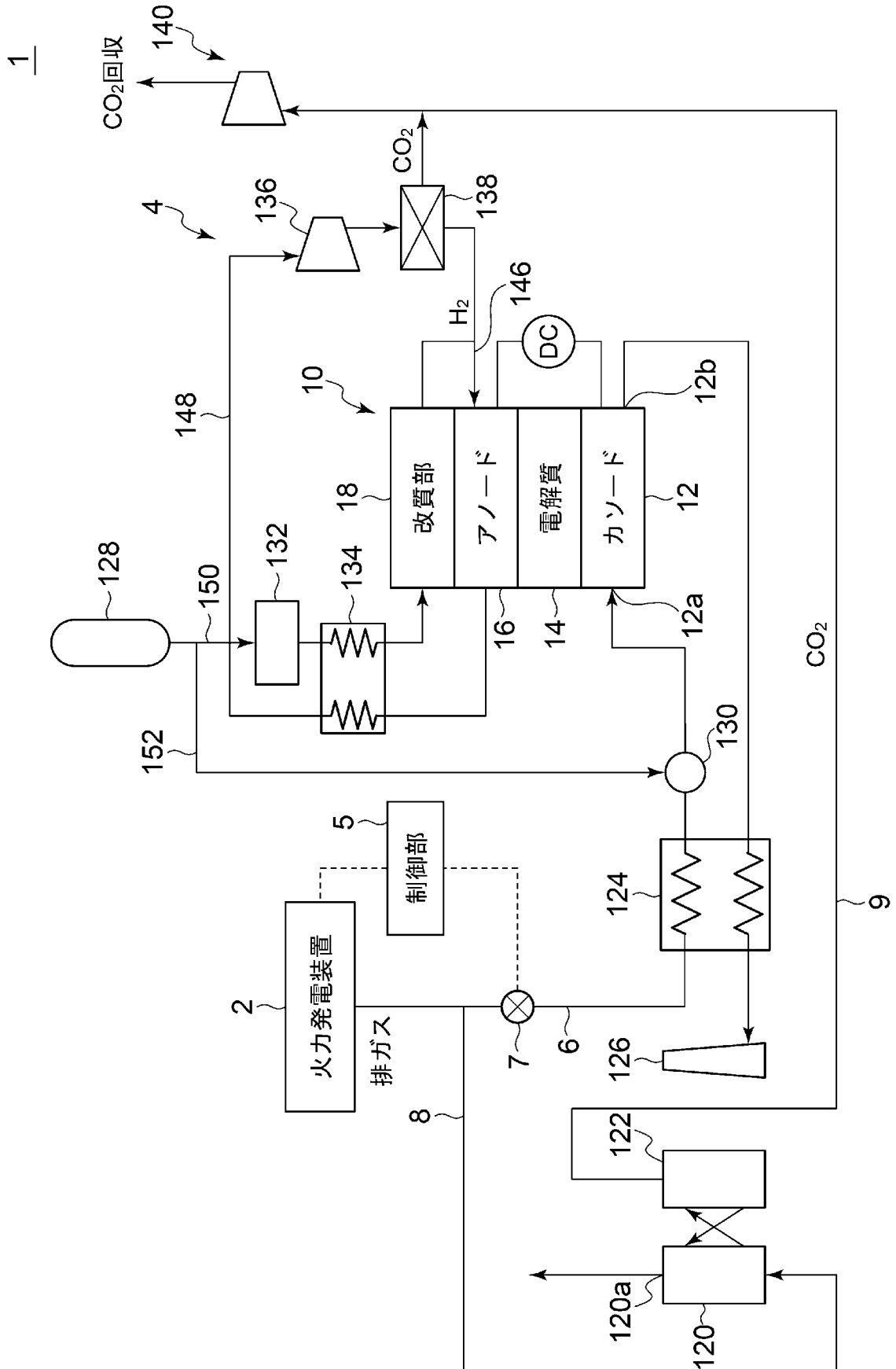


1

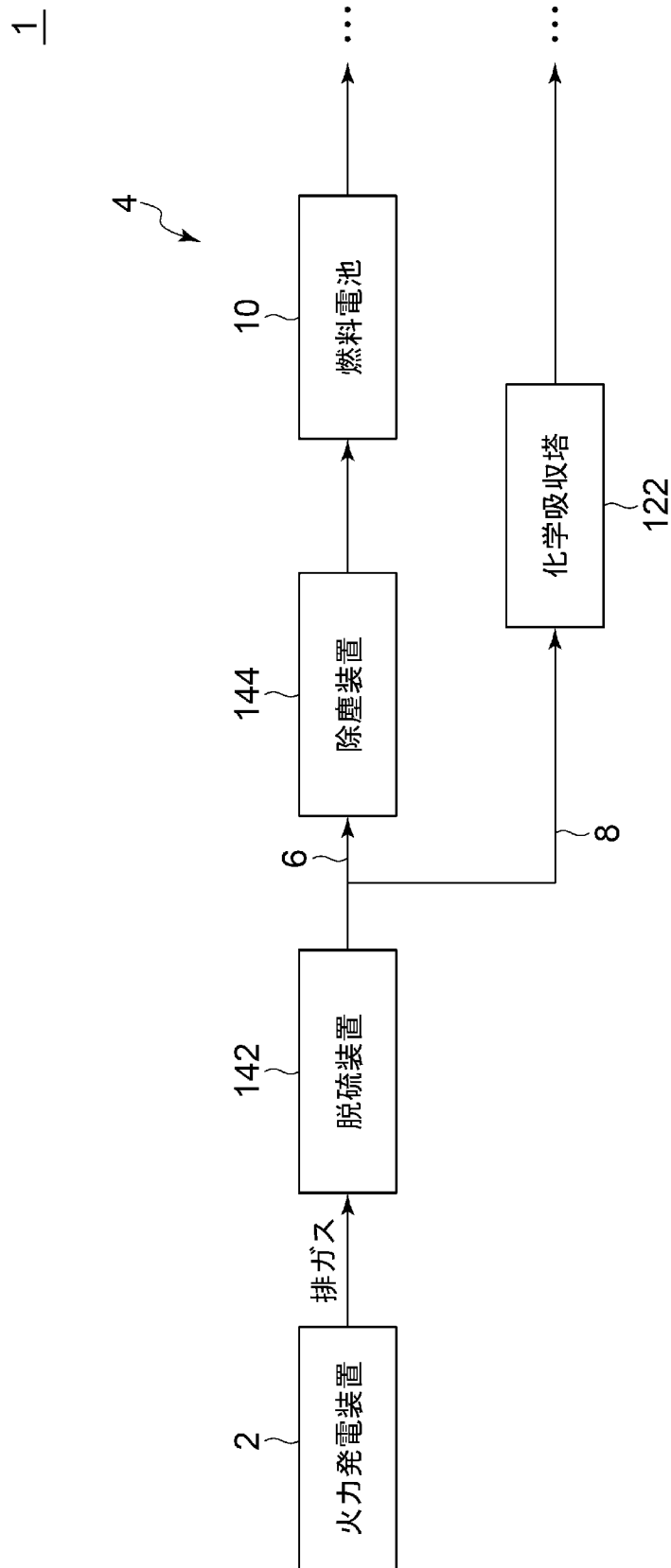
[図5]



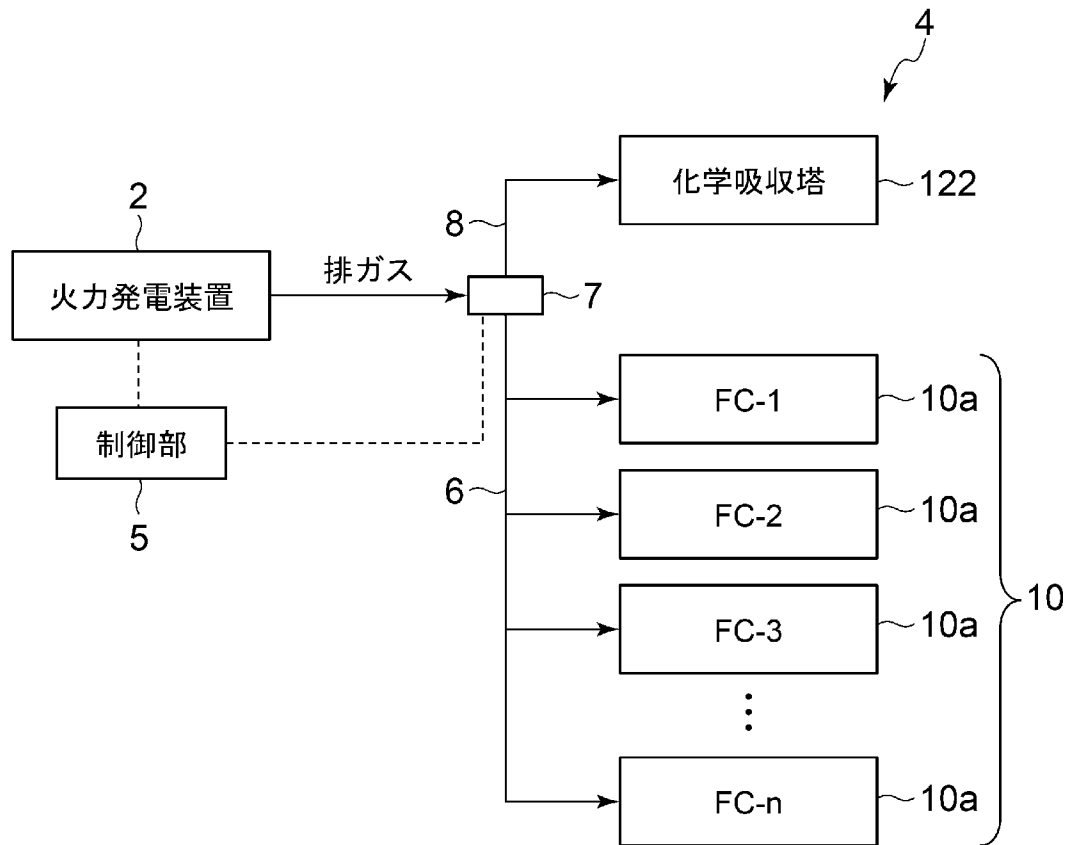
[図6]



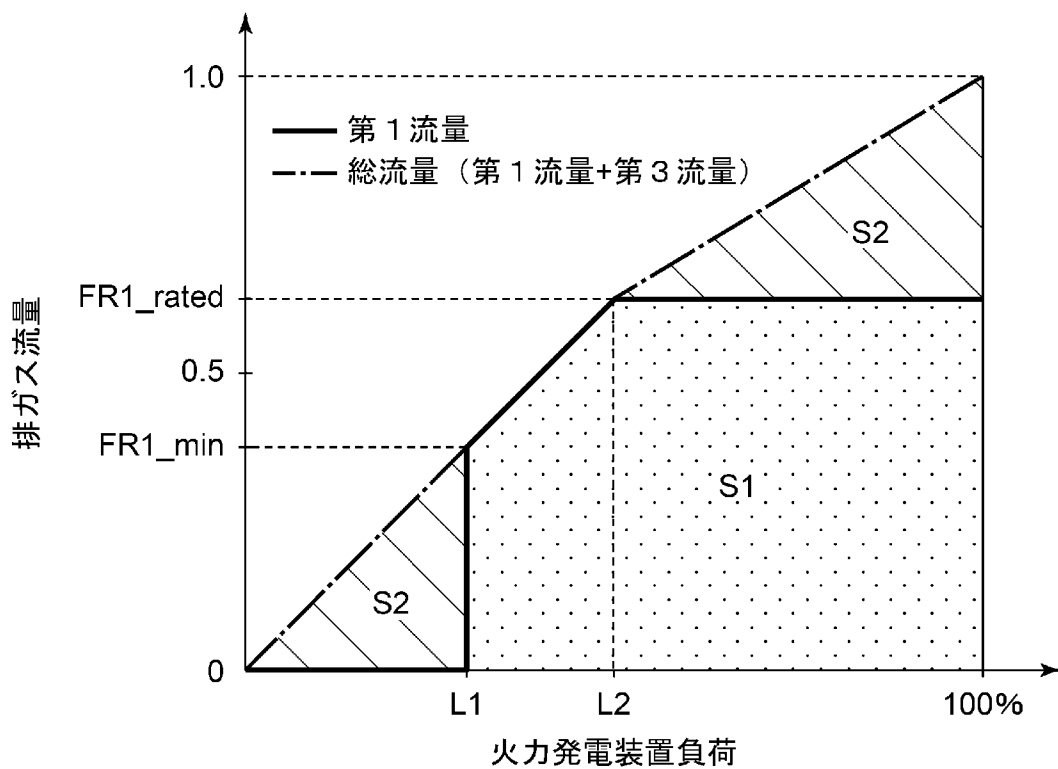
[図7]



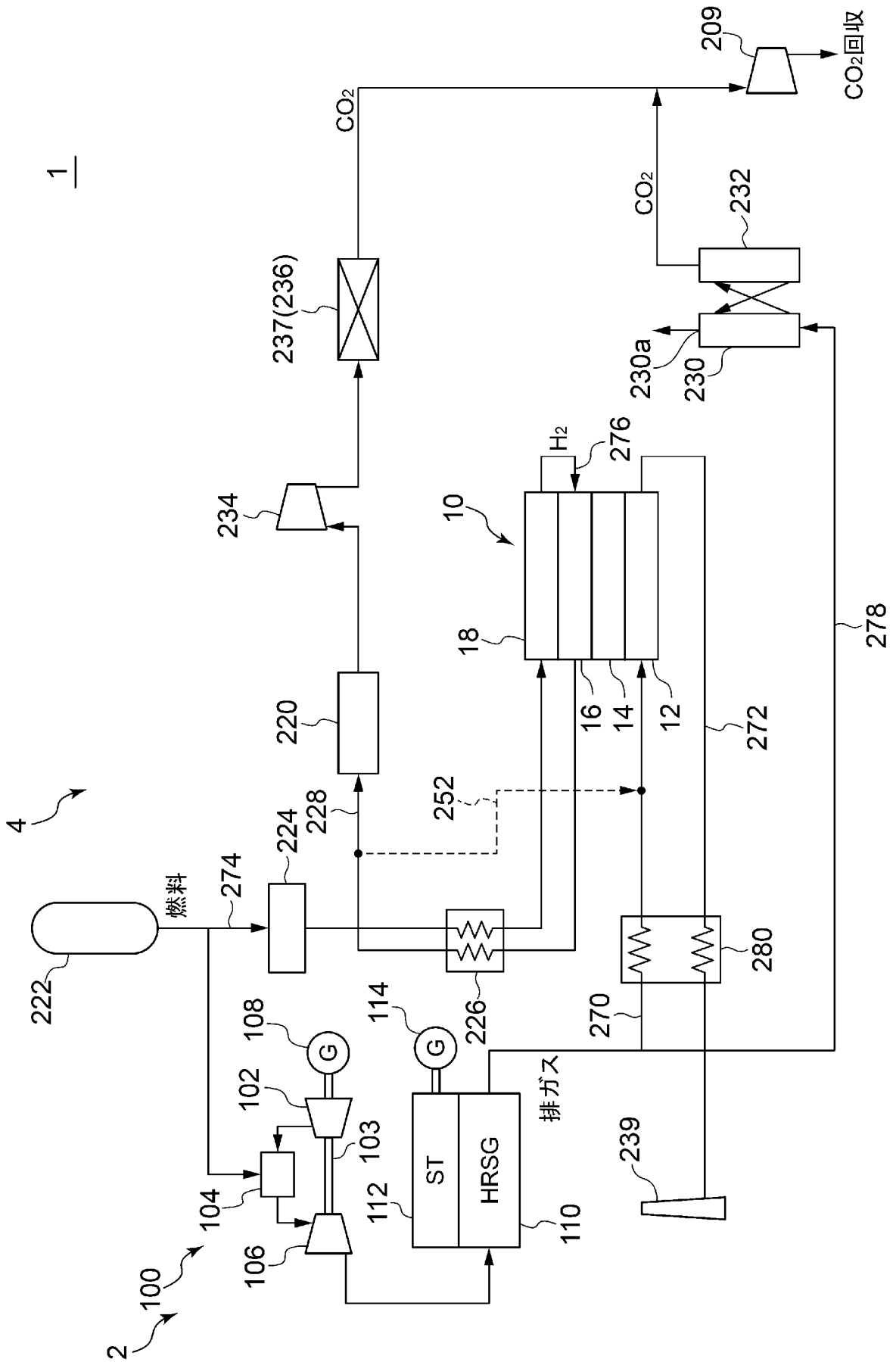
[図8]



[図9]

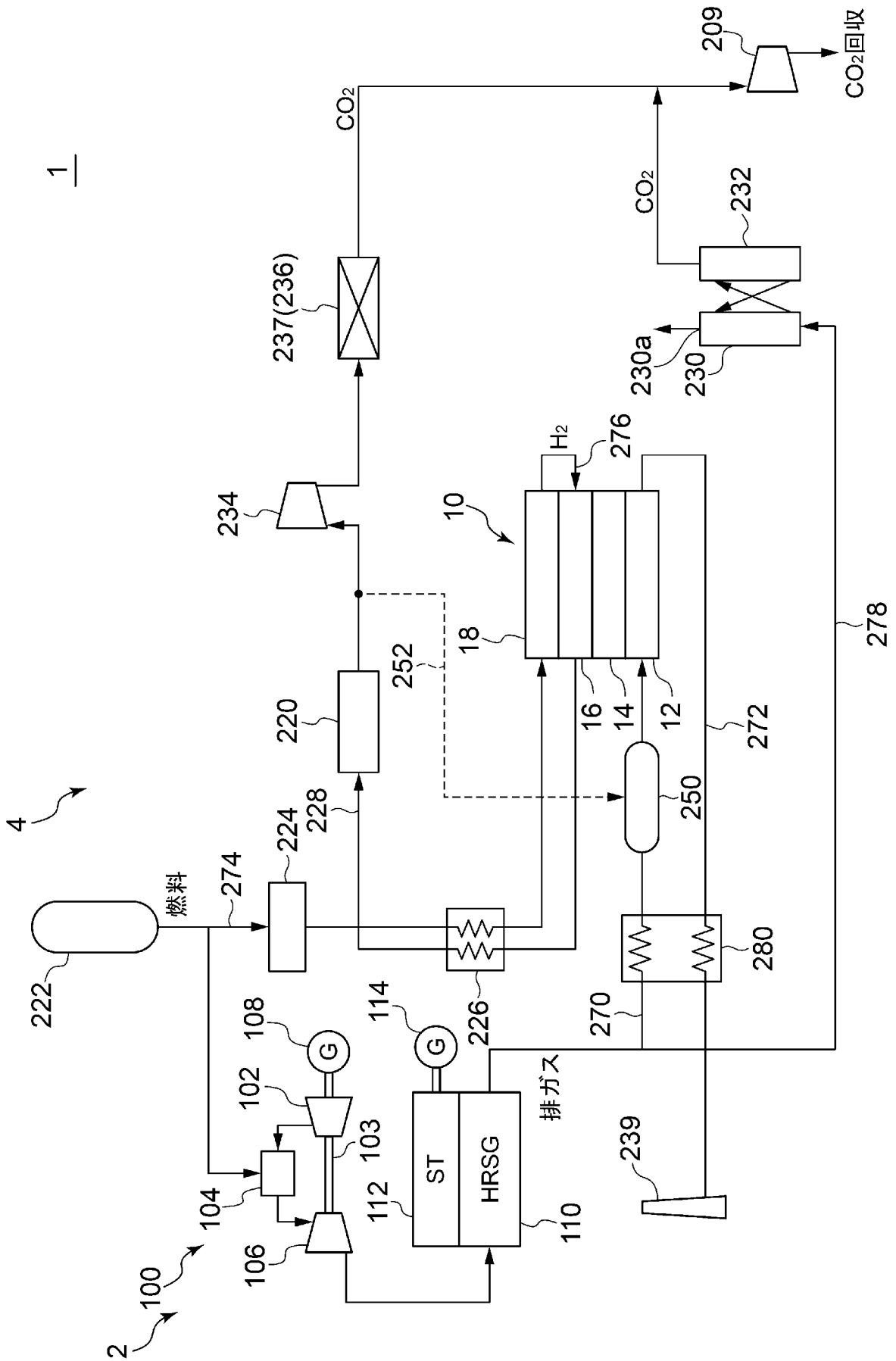


[図10]

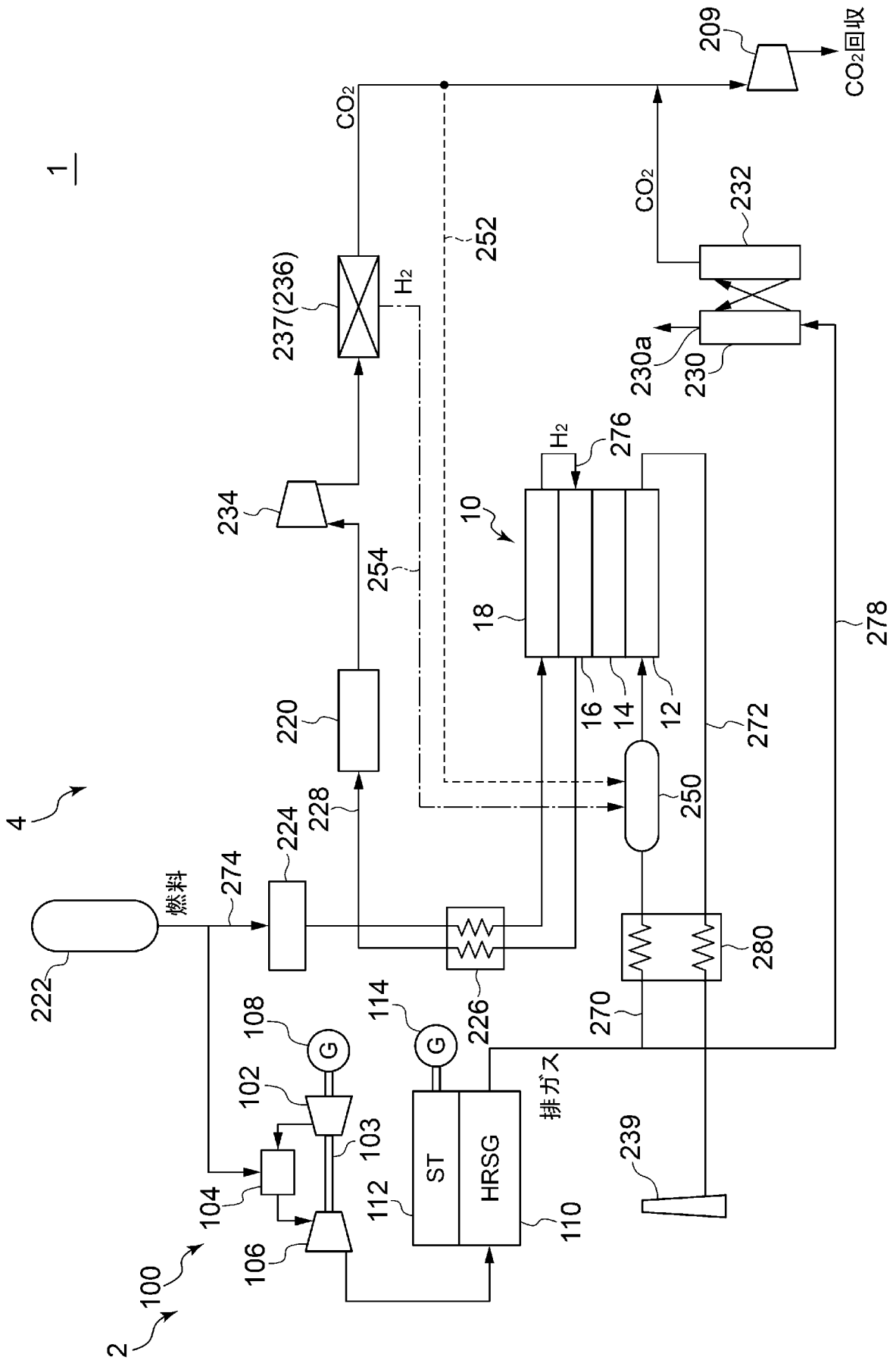


1

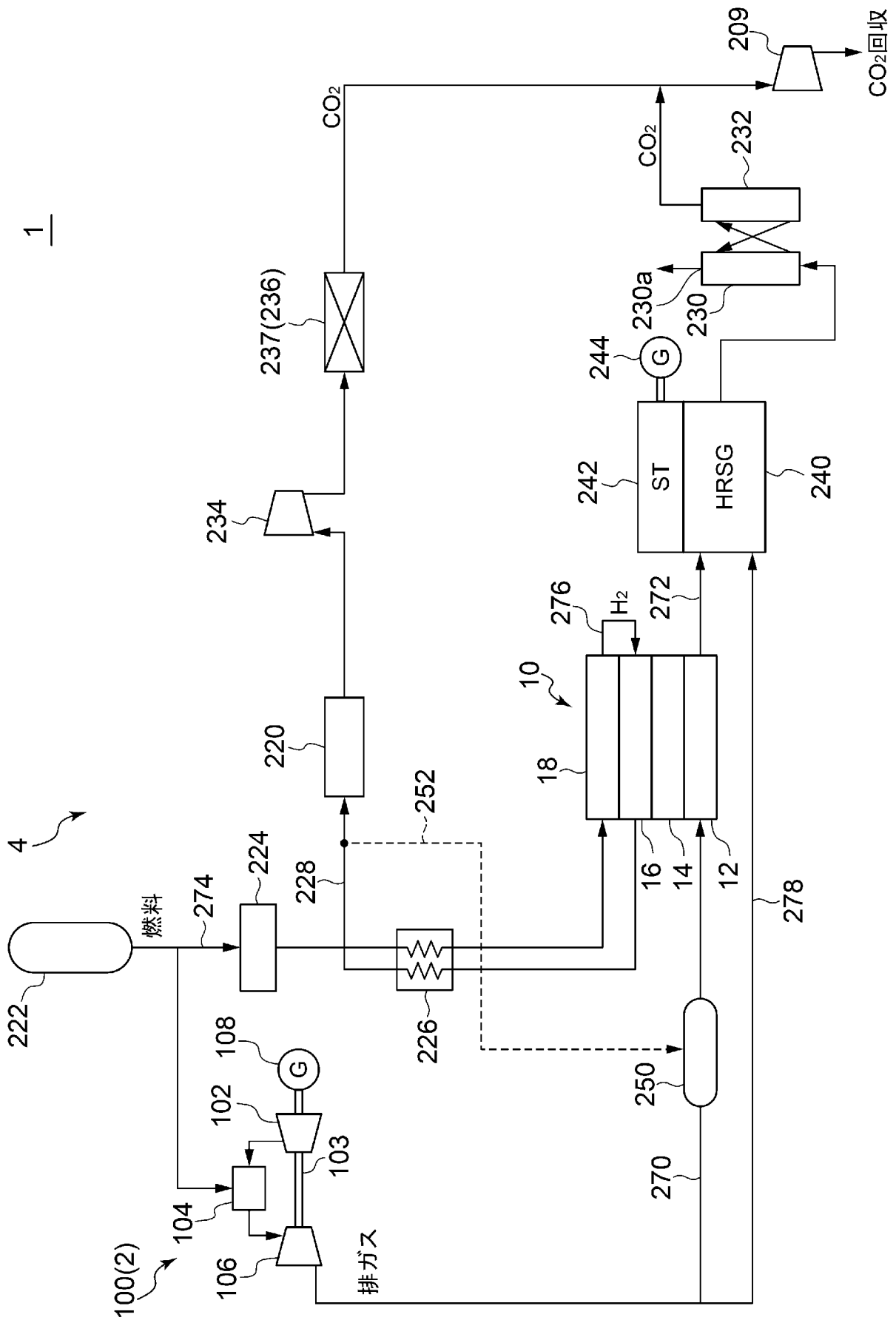
[図11]



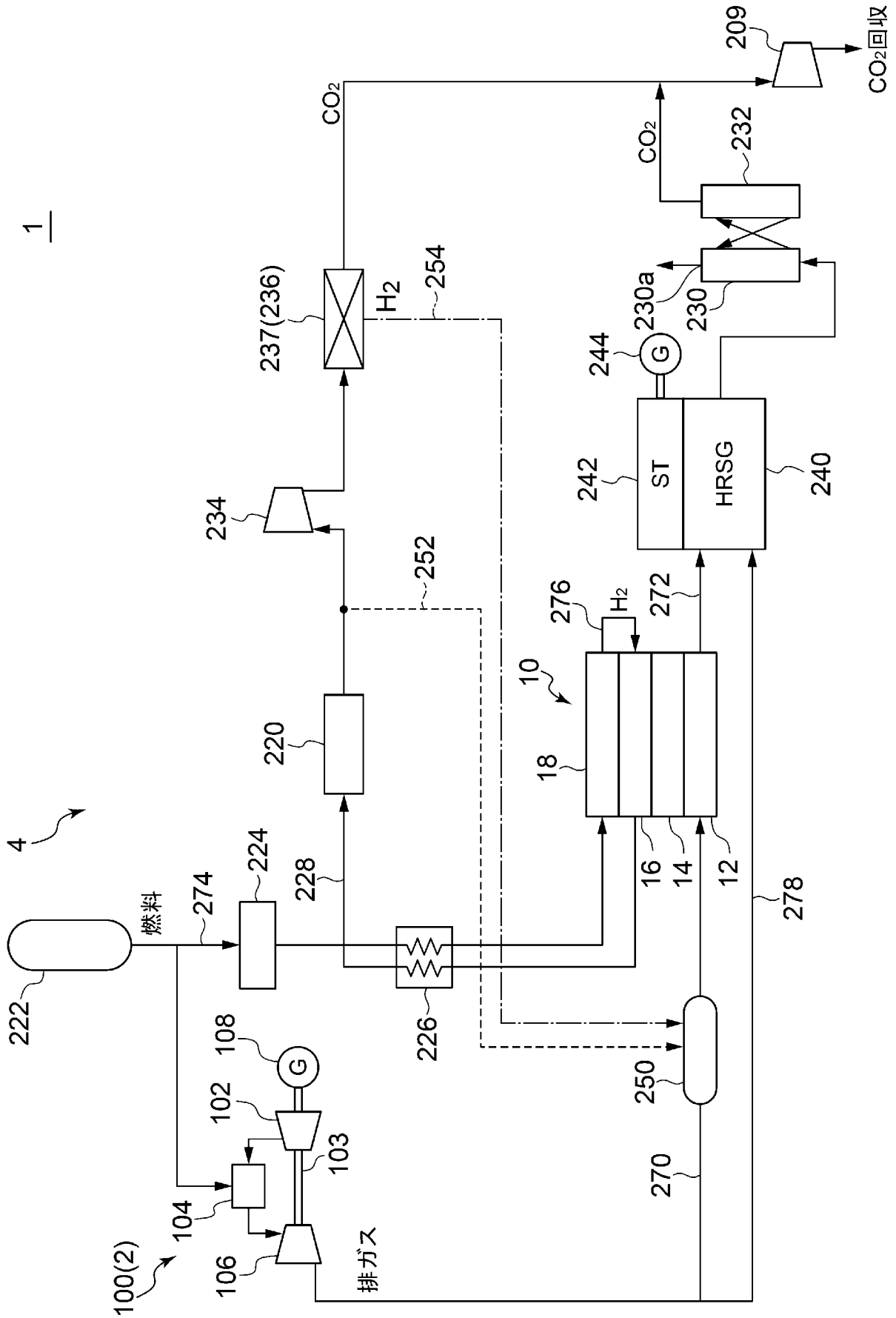
[図12]



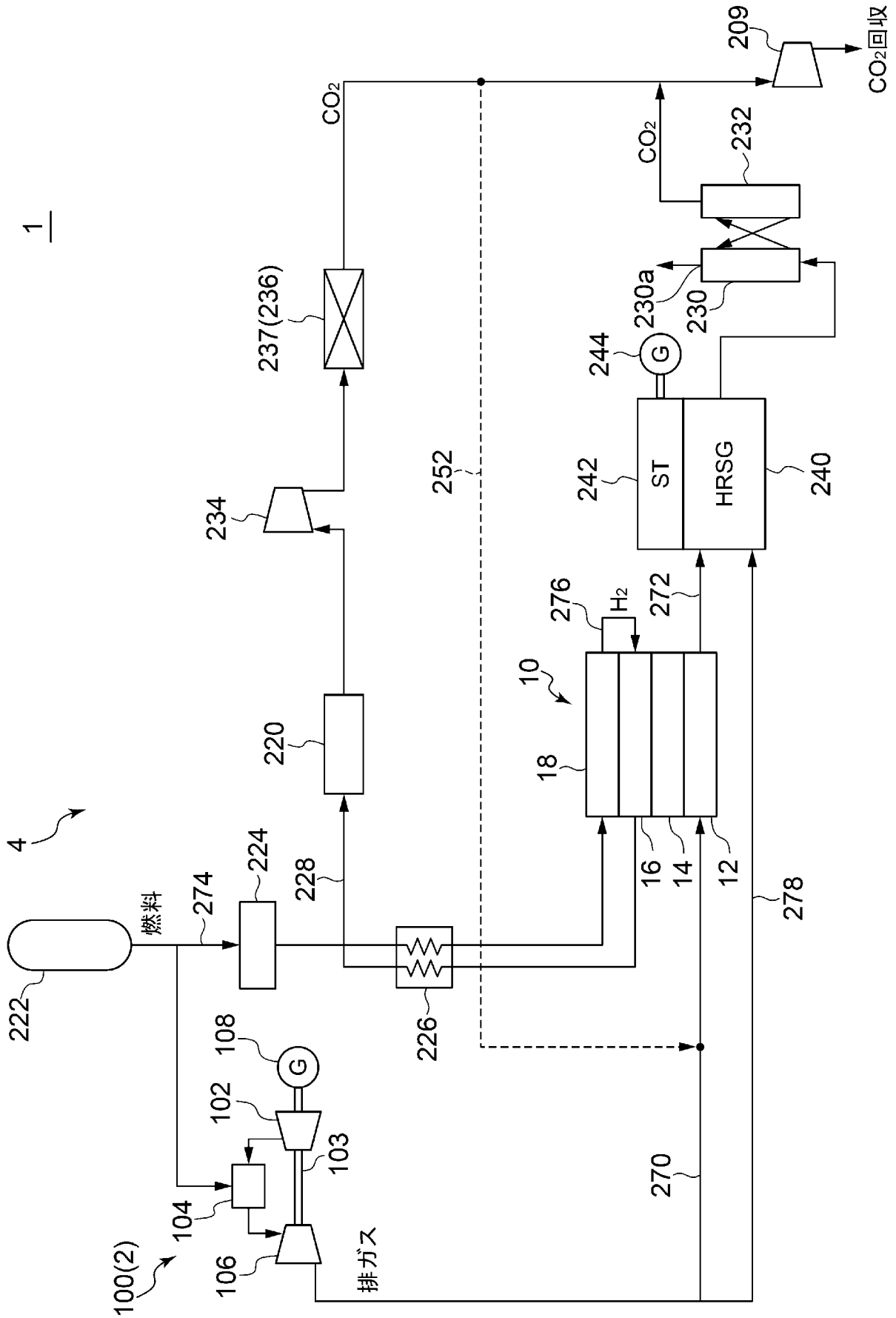
[図13]



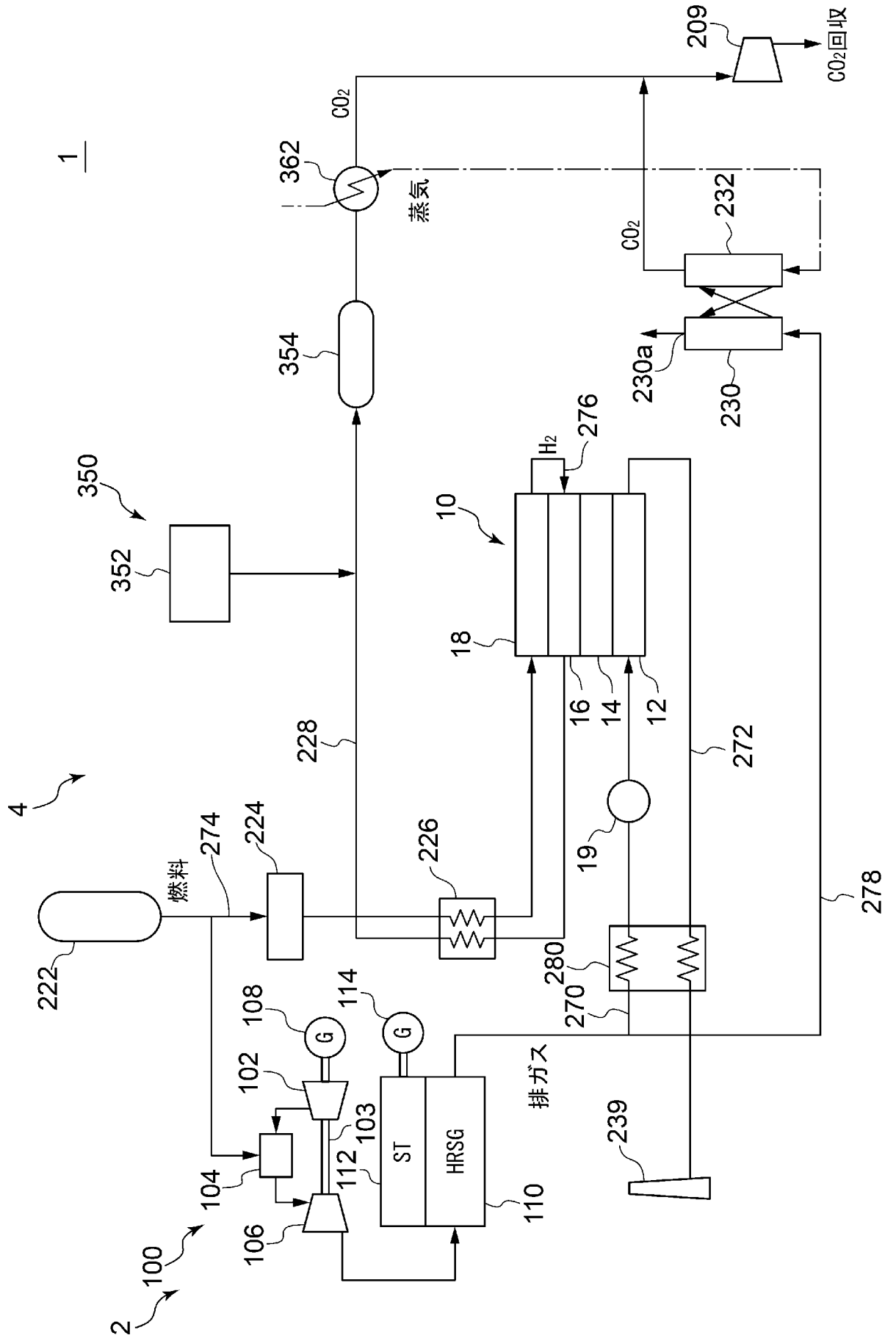
[図14]



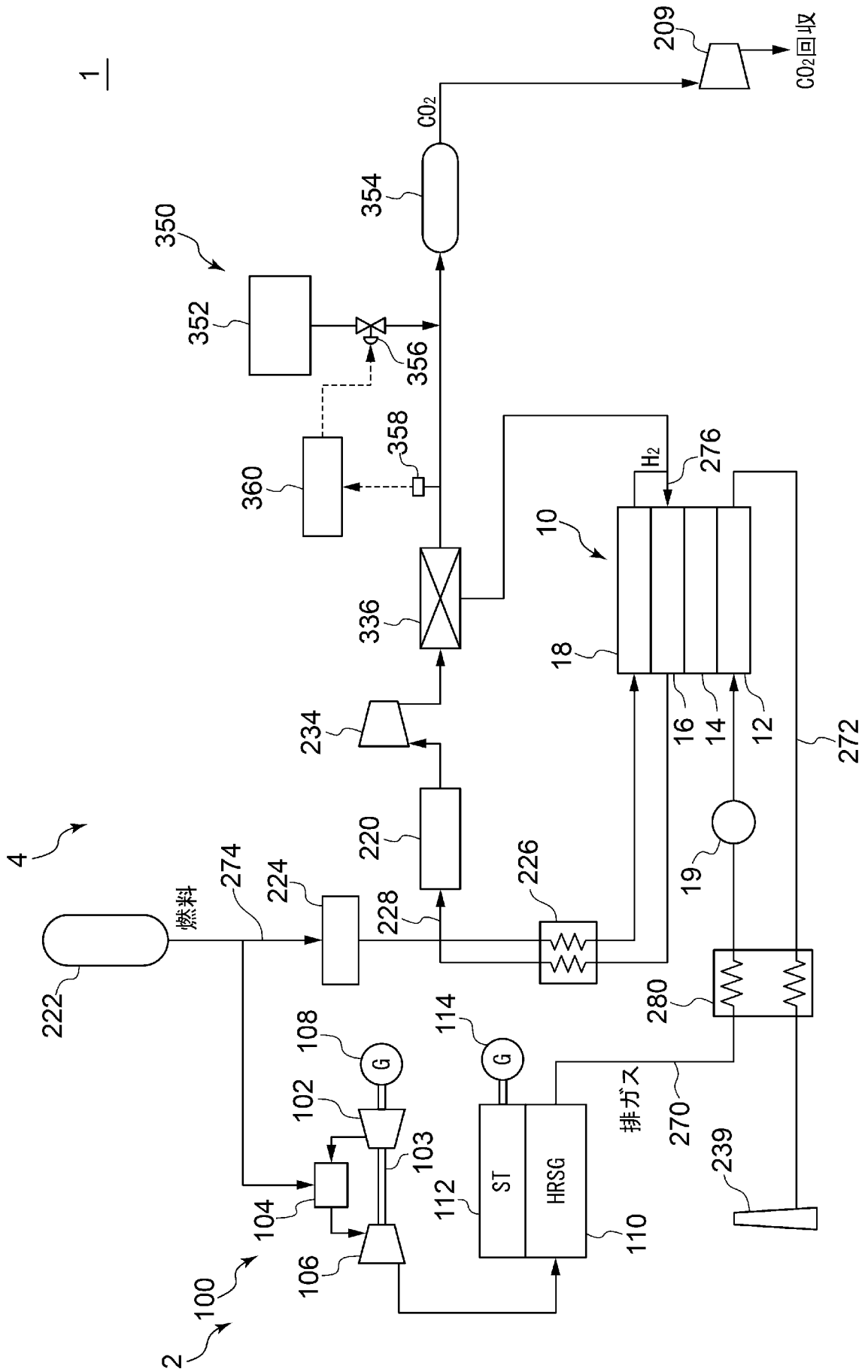
[図15]



[図16]

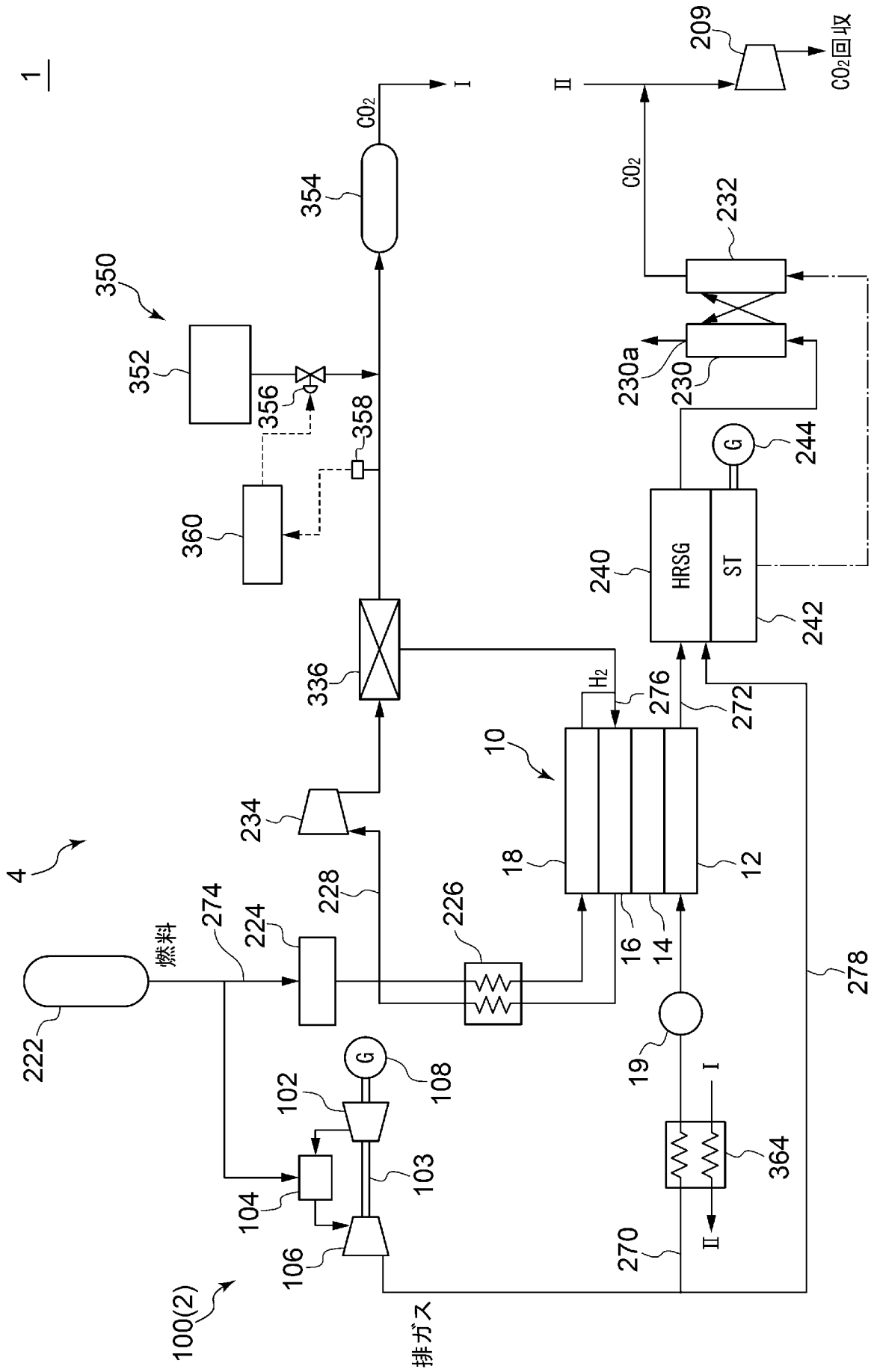


[図17]



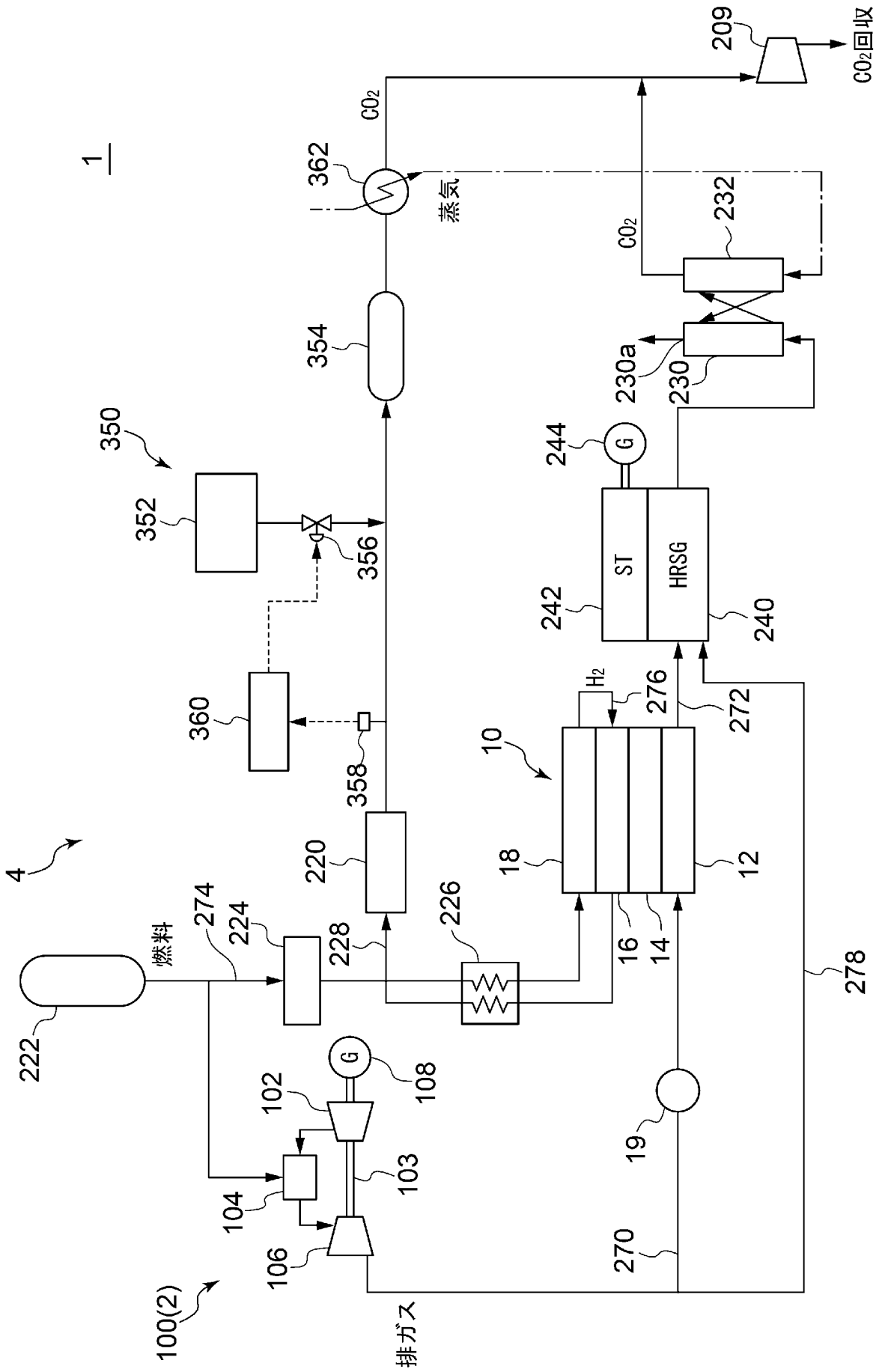
1

[図18]

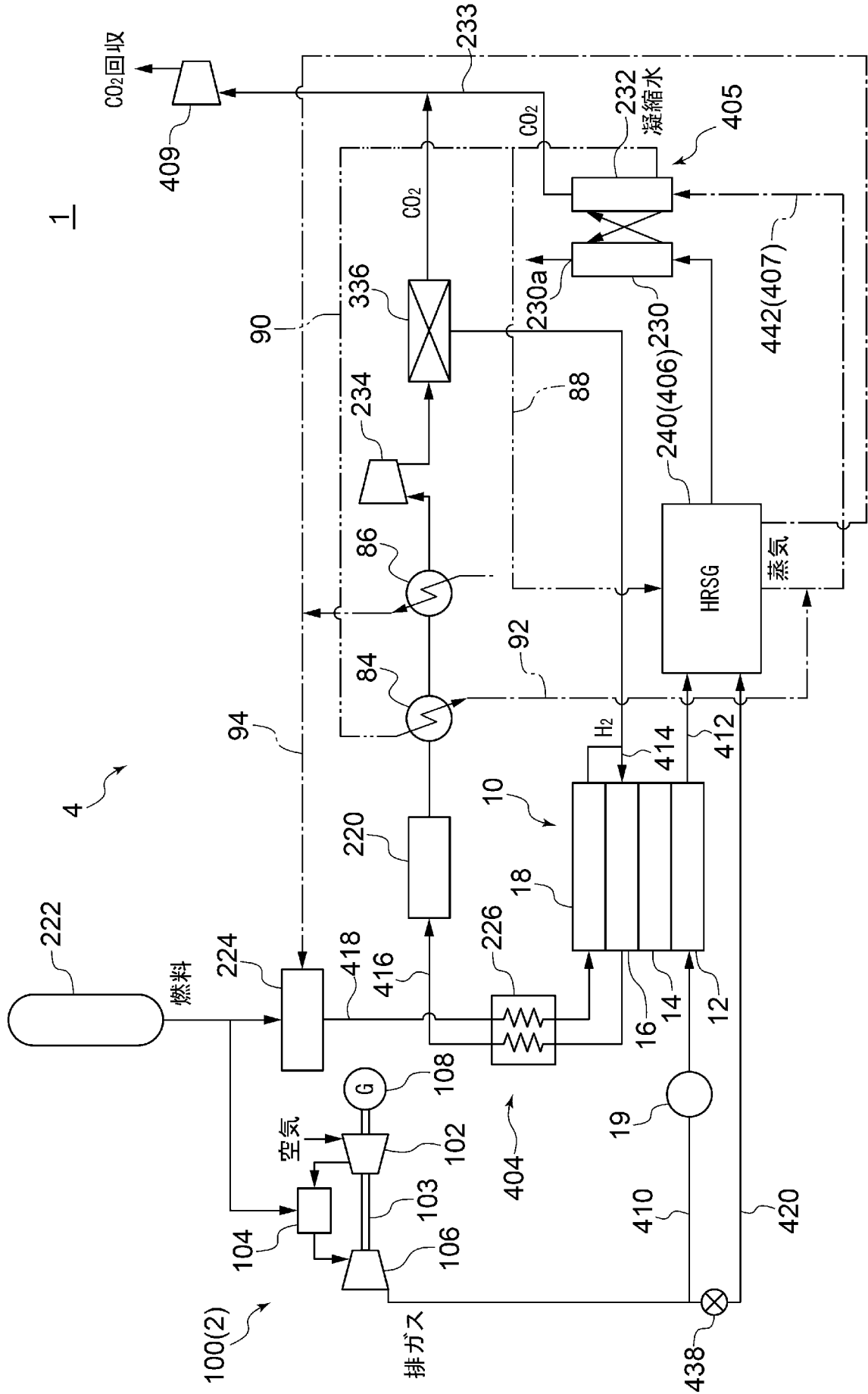


1

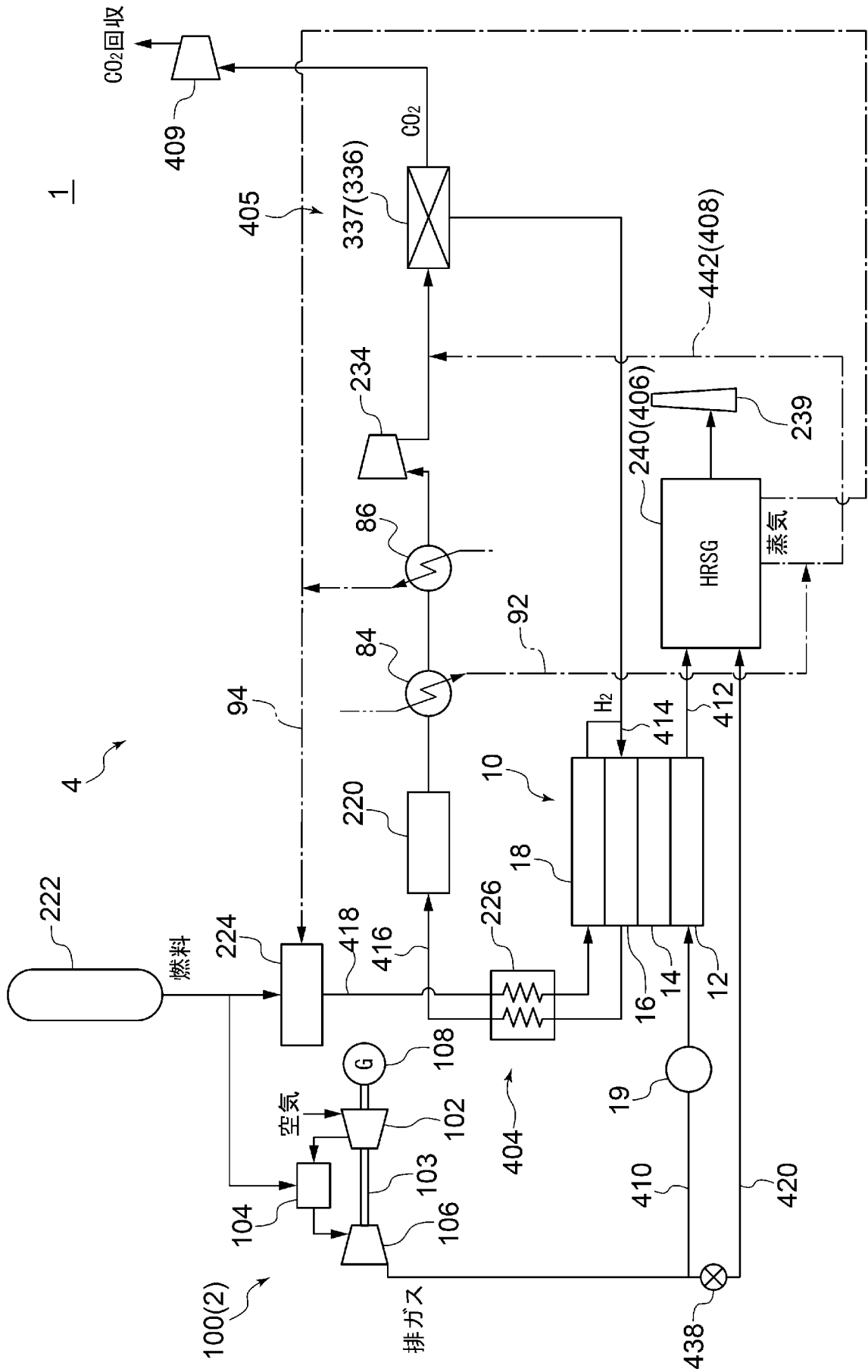
[図19]



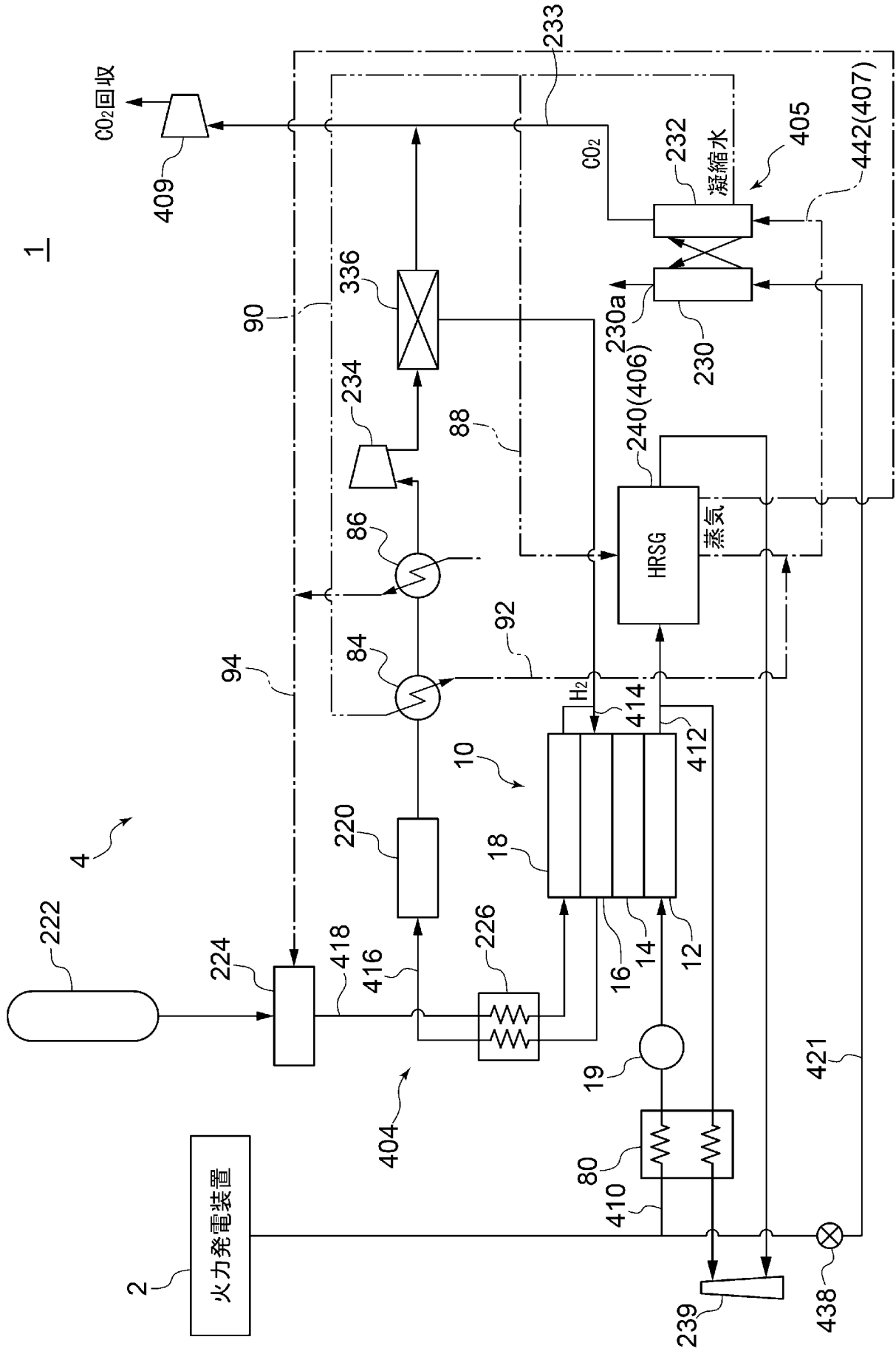
[図20]



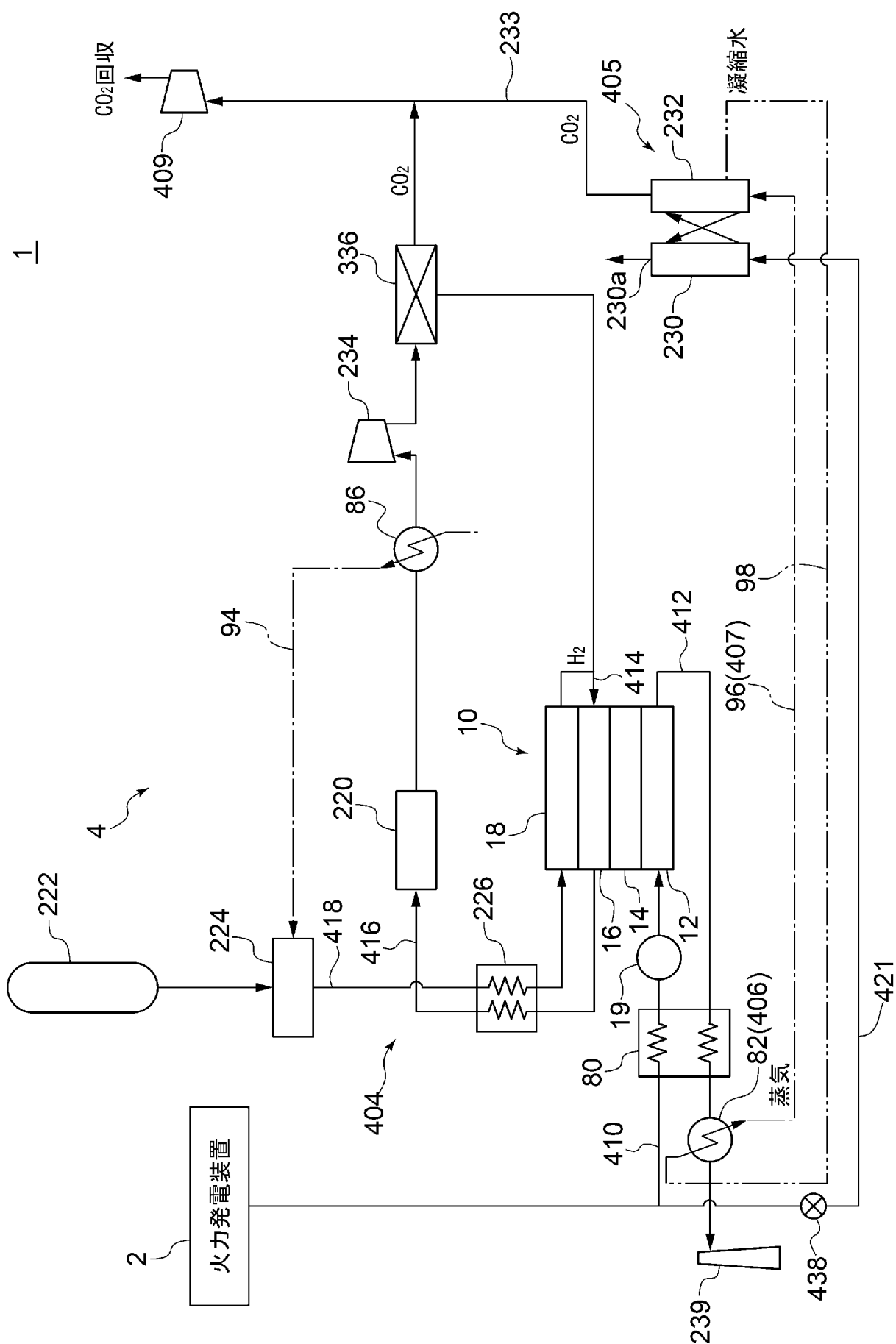
[図21]



[図22]

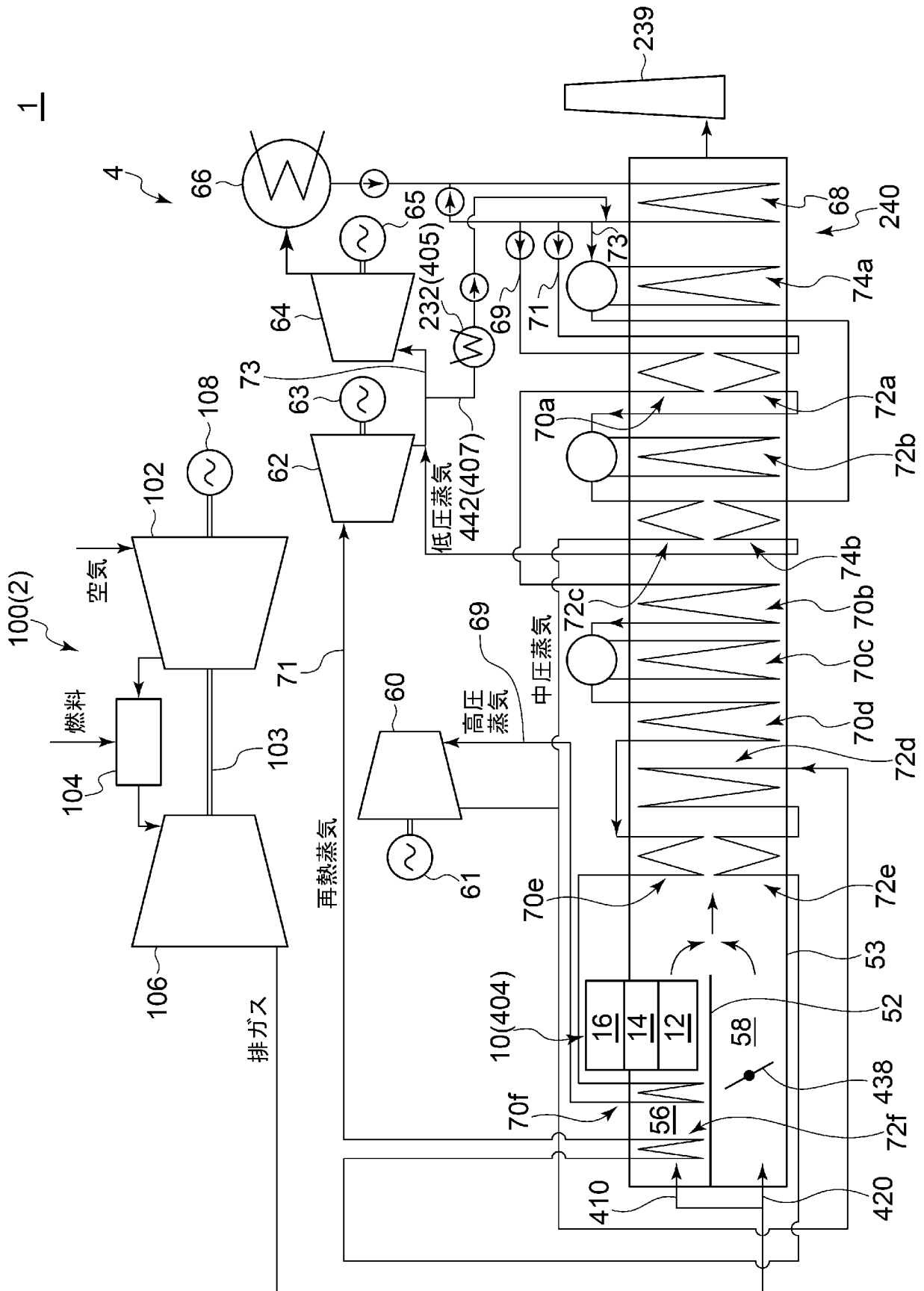


[図23]

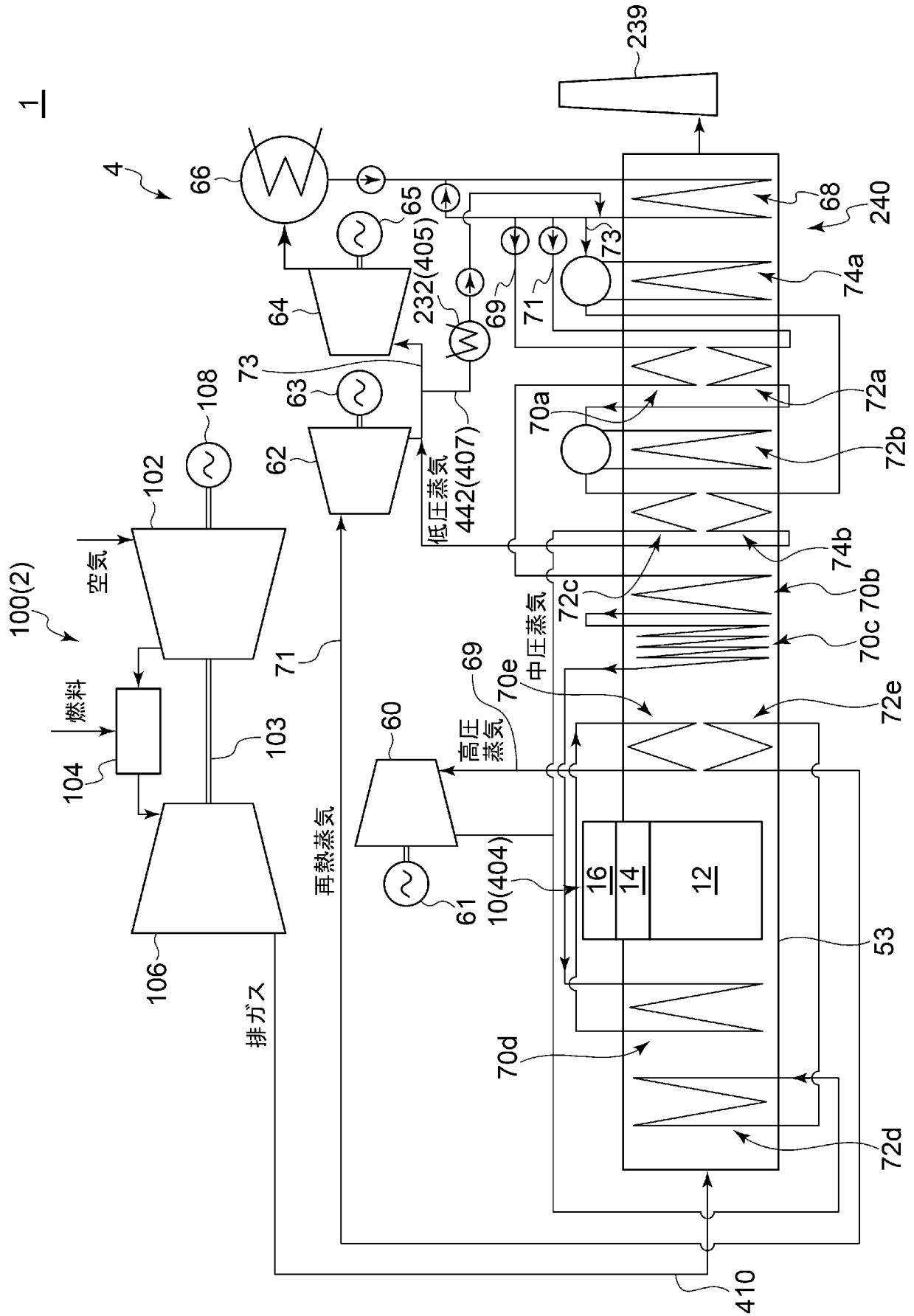


1

[図24]



[図25]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2017/037459

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
 Int. Cl. H01M8/04 (2016.01) i, B01D53/50 (2006.01) i, B01D53/62 (2006.01) i,
 B01D53/77 (2006.01) i, B01D53/78 (2006.01) i, C01B32/50 (2017.01) i,
 H01M8/0606 (2016.01) i
 According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)
 Int. Cl. H01M8/04, B01D53/50, B01D53/62, B01D53/77, B01D53/78, C01B32/50,
 H01M8/0606

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched
 Published examined utility model applications of Japan 1922-1996
 Published unexamined utility model applications of Japan 1971-2017
 Registered utility model specifications of Japan 1996-2017
 Published registered utility model applications of Japan 1994-2017

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X Y A Y	JP 2016-511526 A (EXXONMOBIL RESEARCH AND ENGINEERING CO.) 14 April 2016, paragraphs [0073], [0130], [0168]-[0174], fig. 3-4 & WO 2014/151210 A1, paragraphs [0077], [0133], [0171]-[0177], fig. 3-4 & US 2014/0260310 A1 & CA 2902861 A1 & CN 105209379 A & KR 10-2015-0132315 A JP 9-320620 A (TOSHIBA CORP.) 12 December 1997, paragraphs [0003]-[0004], fig. 3 (Family: none)	1-3, 19-21 4-9, 13-18, 22-29 10-12 4-9, 13-18, 22-29

Further documents are listed in the continuation of Box C. See patent family annex.

* Special categories of cited documents:
 "A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance
 "E" earlier application or patent but published on or after the international filing date
 "L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)
 "O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means
 "P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed
 "I" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
 "X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
 "Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art
 "&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search _____ Date of mailing of the international search report _____

Name and mailing address of the ISA/
 Japan Patent Office
 3-4-3, Kasumigaseki, Chiyoda-ku,
 Tokyo 100-8915, Japan
 Authorized officer _____
 Telephone No. _____

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2017/037459

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	JP 2015-218634 A (MITSUBISHI HEAVY INDUSTRIES, LTD.) 07 December 2015, paragraphs [0045]-[0048], fig. 8 & EP 3128151 A1, paragraphs [0053]-[0056], fig. 8 & US 2017/0114718 A1 & WO 2015/174246 A1 & CA 2947254 A1	8-9, 13-18, 24-29
Y	JP 5-283090 A (ISHIKAWAJIMA-HARIMA HEAVY INDUSTRIES CO., LTD.) 29 October 1993, paragraphs [0001]-[0003], fig. 2 (Family: none)	15-18, 27-29
Y	JP 2006-196268 A (THE CHUGOKU ELECTRIC POWER CO., INC.) 27 July 2006, paragraphs [0039]-[0046], fig. 2 (Family: none)	16-18, 28-29
A	JP 2016-513866 A (EXXONMOBIL RESEARCH AND ENGINEERING CO.) 16 May 2016, fig. 11 & WO 2014/151196 A1, fig. 11 & US 2014/0260310 A1 & CA 2902986 A1 & CN 105210223 A & KR 10-2015-0132260 A	1-29

<p>A. 発明の属する分野の分類（国際特許分類（IPC））</p> <p>Int.Cl. H01M8/04(2016.01)i, B01D53/50(2006.01)i, B01D53/62(2006.01)i, B01D53/77(2006.01)i, B01D53/78(2006.01)i, C01B32/50(2017.01)i, H01M8/0606(2016.01)i</p>												
<p>B. 調査を行った分野</p> <p>調査を行った最小限資料（国際特許分類（IPC））</p> <p>Int.Cl. H01M8/04, B01D53/50, B01D53/62, B01D53/77, B01D53/78, C01B32/50, H01M8/0606</p>												
<p>最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの</p> <table border="0"> <tr> <td>日本国実用新案公報</td> <td>1922-1996年</td> </tr> <tr> <td>日本国公開実用新案公報</td> <td>1971-2018年</td> </tr> <tr> <td>日本国実用新案登録公報</td> <td>1996-2018年</td> </tr> <tr> <td>日本国登録実用新案公報</td> <td>1994-2018年</td> </tr> </table>			日本国実用新案公報	1922-1996年	日本国公開実用新案公報	1971-2018年	日本国実用新案登録公報	1996-2018年	日本国登録実用新案公報	1994-2018年		
日本国実用新案公報	1922-1996年											
日本国公開実用新案公報	1971-2018年											
日本国実用新案登録公報	1996-2018年											
日本国登録実用新案公報	1994-2018年											
<p>国際調査で使用した電子データベース（データベースの名称、調査に使用した用語）</p>												
<p>C. 関連すると認められる文献</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>引用文献の カテゴリー*</th> <th>引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示</th> <th>関連する 請求項の番号</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>X Y A</td> <td>JP 2016-511526 A（エクソンモービル リサーチ アンド エンジニアリング カンパニー）2016.04.14, 段落[0073], [0130], [0168]-[0174], 図3-4 & WO 2014/151210 A1, 段落[0077], [0133], [0171]-[0177], 図3-4 & US 2014/0260310 A1 & CA 2902861 A1 & CN 105209379 A & KR 10-2015-0132315 A</td> <td>1-3, 19-21 4-9, 13-18, 22-29 10-12</td> </tr> <tr> <td>Y</td> <td>JP 9-320620 A（株式会社東芝）1997.12.12, 段落[0003]-[0004], 図3（ファミリーなし）</td> <td>4-9, 13-18, 22-29</td> </tr> </tbody> </table>			引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求項の番号	X Y A	JP 2016-511526 A（エクソンモービル リサーチ アンド エンジニアリング カンパニー）2016.04.14, 段落[0073], [0130], [0168]-[0174], 図3-4 & WO 2014/151210 A1, 段落[0077], [0133], [0171]-[0177], 図3-4 & US 2014/0260310 A1 & CA 2902861 A1 & CN 105209379 A & KR 10-2015-0132315 A	1-3, 19-21 4-9, 13-18, 22-29 10-12	Y	JP 9-320620 A（株式会社東芝）1997.12.12, 段落[0003]-[0004], 図3（ファミリーなし）	4-9, 13-18, 22-29	
引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求項の番号										
X Y A	JP 2016-511526 A（エクソンモービル リサーチ アンド エンジニアリング カンパニー）2016.04.14, 段落[0073], [0130], [0168]-[0174], 図3-4 & WO 2014/151210 A1, 段落[0077], [0133], [0171]-[0177], 図3-4 & US 2014/0260310 A1 & CA 2902861 A1 & CN 105209379 A & KR 10-2015-0132315 A	1-3, 19-21 4-9, 13-18, 22-29 10-12										
Y	JP 9-320620 A（株式会社東芝）1997.12.12, 段落[0003]-[0004], 図3（ファミリーなし）	4-9, 13-18, 22-29										
<p><input checked="" type="checkbox"/> C欄の続きにも文献が列挙されている。 <input type="checkbox"/> パテントファミリーに関する別紙を参照。</p>												
<p>* 引用文献のカテゴリー</p> <table border="0"> <tr> <td>「A」 特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの</td> <td>「T」 国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの</td> </tr> <tr> <td>「E」 国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの</td> <td>「X」 特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの</td> </tr> <tr> <td>「L」 優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献（理由を付す）</td> <td>「Y」 特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの</td> </tr> <tr> <td>「O」 口頭による開示、使用、展示等に言及する文献</td> <td>「&」 同一パテントファミリー文献</td> </tr> <tr> <td>「P」 国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願</td> <td></td> </tr> </table>			「A」 特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの	「T」 国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの	「E」 国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの	「X」 特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの	「L」 優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献（理由を付す）	「Y」 特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの	「O」 口頭による開示、使用、展示等に言及する文献	「&」 同一パテントファミリー文献	「P」 国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願	
「A」 特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの	「T」 国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの											
「E」 国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの	「X」 特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの											
「L」 優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献（理由を付す）	「Y」 特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの											
「O」 口頭による開示、使用、展示等に言及する文献	「&」 同一パテントファミリー文献											
「P」 国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願												
<p>国際調査を完了した日</p> <p>10.01.2018</p>	<p>国際調査報告の発送日</p> <p>23.01.2018</p>											
<p>国際調査機関の名称及びあて先</p> <p>日本国特許庁（ISA/J P）</p> <p>郵便番号100-8915</p> <p>東京都千代田区霞が関三丁目4番3号</p>	<p>特許庁審査官（権限のある職員）</p> <p>大内 俊彦</p> <p>電話番号 03-3581-1101 内線 3316</p>	<p>3H 9824</p>										

C (続き) . 関連すると認められる文献		
引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求項の番号
Y	JP 2015-218634 A (三菱重工業株式会社) 2015. 12. 07, 段落[0045]-[0048], 図 8 & EP 3128151 A1, 段落[0053]-[0056], 図 8 & US 2017/0114718 A1 & WO 2015/174246 A1 & CA 2947254 A1	8-9, 13-18, 24-29
Y	JP 5-283090 A (石川島播磨重工業株式会社) 1993. 10. 29, 段落[0001]-[0003], 図 2 (ファミリーなし)	15-18, 27-29
Y	JP 2006-196268 A (中国電力株式会社) 2006. 07. 27, 段落[0039]-[0046], 図 2 (ファミリーなし)	16-18, 28-29
A	JP 2016-513866 A (エクソンモービル リサーチ アンド エンジニアリング カンパニー) 2016. 05. 16, 図 11 & WO 2014/151196 A1, 図 11 & US 2014/0260310 A1 & CA 2902986 A1 & CN 105210223 A & KR 10-2015-0132260 A	1-29