

明 細 書

発明の名称：発電システム

技術分野

[0001] 本開示は、発電システムに関する。

背景技術

[0002] たとえば下記特許文献1には、触媒を介してメタン等の炭化水素ガスを熱分解させることによって、水素を取り出す装置が記載されている。

先行技術文献

特許文献

[0003] 特許文献1：特開2022-24997号公報

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0004] ところで、上記熱分解によれば、炭化水素ガスが全て水素と炭素とに分解されるわけではなく、炭化水素ガスが一定の割合で混在した気体が生成される。こうして生成された気体から水素を取り出して発電に用いる場合、水素を抽出する処理によって、発電効率の低下を招く。

課題を解決するための手段

[0005] 本開示の一態様では、発電システムを提供する。発電システムは、熱分解装置と、ガスタービンと、を備える。前記熱分解装置は、炭化水素ガスを水素と炭素とに熱分解する装置である。前記ガスタービンの燃料は、前記熱分解装置によって炭化水素ガスを熱分解することによって生成された炭化水素ガスと水素との混合気を含む。

図面の簡単な説明

[0006] [図1]第1の実施形態にかかる発電システムを示すブロック図である。

[図2]同実施形態の比較例にかかる発電システムを示すブロック図である。

[図3]第2の実施形態にかかる発電システムを示すブロック図である。

[図4]第3の実施形態にかかる発電システムを示すブロック図である。

[図5]第4の実施形態にかかる発電システムを示すブロック図である。

[図6]第5の実施形態にかかる発電システムを示すブロック図である。

[図7]第6の実施形態にかかる発電システムを示すブロック図である。

[図8]第7の実施形態にかかる発電システムを示すブロック図である。

発明を実施するための形態

[0007] <第1の実施形態>

以下、第1の実施形態について図面を参照しつつ説明する。

図1に、本実施形態にかかる発電システムを示す。

[0008] 図1に示す熱分解装置10は、触媒を介して、メタンを水素と炭素とに熱分解する装置である。触媒は、一例として、鉄である。加熱器12は、熱分解装置10に熱を供給する装置である。詳しくは、加熱器12は、熱分解装置10において反応するメタンおよび触媒に熱を供給する装置である。熱の供給によって、熱分解装置10において反応するメタンおよび触媒の温度は、たとえば、600～900℃とされる。加熱器12は、メタンを燃焼させることによって得られた熱を熱分解装置10に供給する。

[0009] 熱分解装置10に供給されるメタンは、生成ガス熱交換器14によって加熱されたメタンである。

生成ガス熱交換器14は、熱分解装置10から流出する水素およびメタンの熱によって、熱分解装置10に供給されるメタンを加熱する機器である。生成ガス熱交換器14による加熱前のメタンの温度T2は、生成ガス熱交換器14による加熱によって温度T3に上昇する。ここで、温度T2は、たとえば100～400℃としてもよい。また、温度T3は、たとえば500～800℃としてもよい。

[0010] 上記熱分解装置10から流出するメタンおよび水素の混合気は、生成ガス熱交換器14によって熱を奪われる。そのため、生成ガス熱交換器14に供給される混合気の温度T4よりも、生成ガス熱交換器14から流出する混合気の温度T5の方が低くなる。温度T4は、一例として600～900℃

としてもよい。温度 T_5 は、一例として $200\sim500^{\circ}\text{C}$ としてもよい。

[0011] 生成ガス熱交換器14から流出した混合気は、ガスタービン16によって発電のための燃料とされる。

排ガス熱交換器18は、生成ガス熱交換器14に供給されるメタンをガスタービン16の排気 G_{ex} の熱によって加熱する機器である。排ガス熱交換器18に供給されるメタンの温度 T_1 は、排ガス熱交換器18によって温度 T_2 まで上昇する。温度 T_1 は、たとえば $20\sim50^{\circ}\text{C}$ としてもよい。

[0012] なお、熱分解装置10においては、固体の炭素が生成される。炭素は周知の技術で取り除かれる。

「本実施形態の作用および効果」

メタンは、熱分解装置10において、炭素と水素とに熱分解される。この熱分解反応には、熱的な平衡状態が存在する。すなわち、メタン、炭素、および水素が混在した状態で平衡状態が実現しうる。熱分解装置10においては、上記平衡状態を実現するか否かにかかわらず、メタン、炭素、および水素が混在した状態となる。そのため、熱分解装置10から取り出される燃料ガスは、メタンおよび水素の混合気となる。

[0013] 熱分解装置10から取り出された混合気は、水素とメタンとに分離されることなく、ガスタービン16の燃料とされる。これにより、図2に示すように混合気から水素を分離して水素をガスタービン16の燃料とする場合と比較して、発電効率を高めることができる。

[0014] 図2は、本実施形態の比較例を示す。なお、図2において、図1に示した部材に対応する部材については、便宜上同一の符号を付している。

図2に示す比較例は、生成ガス熱交換器14から流出する混合気から、精製装置20によって水素を分離する。そして分離した水素がガスタービン16および加熱器12の燃料とされる。精製装置20は、PSA (Pressure Swing Adsorption) である。PSAに供給される混合気は、ほぼ常温とされる。そのため、熱分解装置10から流出する混合気の温度を、水素の生成のために大きく低下させる必要がある。これがエネ

ルギロスに繋がる。また、精製装置 20 によって抽出される水素の温度も常温程度である。そのため、ガスタービン 16 および加熱器 12 に供給される熱量の低下につながる。

[0015] 以上説明した本実施形態によれば、さらに以下に記載する作用および効果が得られる。

(1-1) ガスタービン 16 に供給されるガスの温度には上限がある。そして、熱分解装置 10 から流出する混合気の温度は、この上限を超えるおそれがある。そこで、生成ガス熱交換器 14 において混合気の熱によって熱分解装置 10 に供給されるメタンを加熱した。これにより、混合気の温度をある程度低下させることができる。しかも、混合気の温度低下のために奪われた熱は、熱分解装置 10 に供給されるメタンに供給される。したがって、ガスタービン 16 に供給される混合気の温度が過度に高い温度となることを抑制することと、熱分解装置 10 から流出する混合気の熱を有効利用することと、ができる。

[0016] (1-2) 生成ガス熱交換器 14 に供給されるメタンをガスタービン 16 の排ガスによって加熱した。これにより、熱分解装置 10 に供給されるメタンの温度を所定の温度 T_3 に上昇させるうえで、生成ガス熱交換器 14 に要求される熱量を軽減できる。

[0017] (1-3) 加熱器 12 の燃料を、メタンとした。これにより、図 2 に示したように同燃料を水素とする場合と比較して、水素の生成効率を高めることができる。

<第 2 の実施形態>

図 3 に、本実施形態にかかる発電システムを示す。なお、図 3 において、図 1 に示した部材に対応する部材については、便宜上同一の符号を付している。

[0018] 図 3 に示す発電システムは、生成ガス熱交換器 14 から流出する混合気を圧縮する圧縮機 30 を備える。圧縮機 30 は、ガスタービン 16 に供給される混合気の圧力を適切な圧力とするために、混合気を圧縮して加圧するよう

に構成されている。

[0019] また、発電システムは、圧縮機 30 の上流側の混合気の熱によって、圧縮機 30 の下流側の混合気を加熱する上下流熱交換器 32 を備えている。上下流熱交換器 32 によって、生成ガス熱交換器 14 から流出した混合気の温度 T_5 は、圧縮機 30 に供給される際に温度 T_8 まで低下される。温度 T_8 は、たとえば $20 \sim 150^{\circ}\text{C}$ である。圧縮機 30 に供給された混合気は、圧縮機 30 によって圧縮されることにより、温度 T_9 まで上昇する。温度 T_9 は、たとえば $60 \sim 400^{\circ}\text{C}$ である。

[0020] 圧縮機 30 によって圧縮された混合気は、上下流熱交換器 32 によって、加熱されることによって、温度 T_5 まで上昇する。

以上説明した本実施形態によれば、上記第 1 の実施形態に準じた効果に加えて、さらに以下の作用および効果が得られる。

[0021] (2-1) 熱分解装置 10 内の圧力は、熱分解の反応速度を高めるなどの要求要素を満たすように設定されることが望ましい。一方、ガスタービン 16 に供給される燃料ガスの圧力は、燃料を効率的に燃焼させるなどの要求要素を満たすように設定されることが望ましい。ただし、それら 2 つの要求要素は一致するとは限らない。そこで、本実施形態では、発電システムに圧縮機 30 を備えた。これにより、熱分解装置 10 から流出する混合気の圧力が、ガスタービン 16 に供給される混合気にとって適切な圧力よりも低い場合に、ガスタービン 16 に供給される混合気の圧力を適切な圧力とすることができる。

[0022] (2-2) 圧縮機 30 に供給される混合気の温度 T_8 を、生成ガス熱交換器 14 から流出する混合気の温度 T_5 に対して低下させた。これにより、温度 T_5 の混合気を圧縮機 30 に直接供給する場合と比較して、混合気を効率的に圧縮できる。

[0023] (2-3) 発電システムに上下流熱交換器 32 を備えた。これにより、圧縮機 30 に混合気を供給する際に一旦混合気の温度を低下させる際に生じた熱を、圧縮機 30 の下流において混合気に与えることができる。そのため、

圧縮機 30 に供給するのに先立って混合気から奪った熱を有効利用することができる。

[0024] <第 3 の実施形態>

図 4 に、本実施形態にかかる発電システムを示す。なお、図 4 において、図 1 に示した部材に対応する部材については、便宜上同一の符号を付している。

[0025] 図 4 に示すように、発電システムは、バッファータンク 40 を備える。バッファータンク 40 には、生成ガス熱交換器 14 から流出する混合気が供給される。バッファータンク 40 は、ガスタービン 16 に供給される混合気を貯蔵する。

[0026] 以上説明した本実施形態によれば、上記第 1 の実施形態に準じた効果に加えて、さらに以下の作用および効果が得られる。

(3-1) 発電システムは、バッファータンク 40 を備えた。これにより、ガスタービン 16 に対する要求負荷が変動することによって、ガスタービン 16 に供給すべき混合気の流量が変動したとしても、ガスタービン 16 に要求される量の混合気を安定的に供給できる。

[0027] <第 4 の実施形態>

図 5 に、本実施形態にかかる発電システムを示す。なお、図 5 において、図 1 に示した部材に対応する部材については、便宜上同一の符号を付している。

[0028] 図 5 に示すように、発電システムは、生成ガス熱交換器 14 から流出する混合気を圧縮する圧縮機 30 と、圧縮機 30 によって圧縮された混合気を貯蔵するバッファータンク 40 と、を備える。また、発電システムは、圧縮機 30 の上流側の混合気の熱によって、バッファータンク 40 の下流側の混合気を加熱する上下流熱交換器 32 を備えている。

[0029] 以上説明した本実施形態によれば、上記第 2 の実施形態および上記第 3 の実施形態に準じた効果に加えて、さらに以下の作用および効果が得られる。

(4-1) バッファータンク 40 を圧縮機 30 の下流に設けた。これによ

り、バッファータンク 40 の上流に圧縮機 30 を設けない場合と比較して、バッファータンク 40 に貯蔵する混合気の貯蔵量を増やすことができる。

[0030] (4-2) バッファータンク 40 の下流の混合気を上下流熱交換器 32 によって加熱した。これにより、圧縮機 30 とバッファータンク 40 との間の混合気を上下流熱交換器 32 によって加熱する場合と比較して、バッファータンク 40 に貯蔵する混合気の貯蔵量を増やすことができる。

[0031] <第 5 の実施形態>

図 6 に、本実施形態にかかる発電システムを示す。なお、図 6 において、図 1 に示した部材に対応する部材については、便宜上同一の符号を付している。

[0032] 図 6 に示すように、発電システムは、バイパス通路 52 を備える。バイパス通路 52 は排ガス熱交換器 18 によって加熱されたメタンを熱分解装置 10 を迂回してガスタービン 16 に直接供給する経路である。

[0033] 詳しくは、排ガス熱交換器 18 から流出するメタンは、流量制御弁 50 によって、生成ガス熱交換器 14 とガスタービン 16 とに供給される割合が制御される。ここで、バイパス通路 52 を介してガスタービン 16 に供給されるメタンの割合は、0~100%である。

[0034] 以上説明した本実施形態によれば、上記第 1 の実施形態に準じた効果に加えて、さらに以下の作用および効果が得られる。

(5-1) 発電システムにバイパス通路 52 を備えた。これにより、ガスタービン 16 に供給される混合気中の水素濃度を調整することができる。

[0035] (5-2) 排ガス熱交換器 18 によって加熱されたメタンをバイパス通路 52 に供給した。これにより、排ガス熱交換器 18 に供給されるメタンをバイパス通路 52 に供給する場合と比較して、ガスタービン 16 に供給されるメタンの温度を高めることができる。

[0036] <第 6 の実施形態>

図 7 に、本実施形態にかかる発電システムを示す。なお、図 7 において、図 6 に示した部材に対応する部材については、便宜上同一の符号を付してい

る。

[0037] 図7に示すように、発電システムは、排ガス熱交換器18を備えない。また、発電システムは、生成ガス熱交換器14を迂回してガスタービン16にメタンを供給するバイパス通路52を備えている。

[0038] 詳しくは、発電システムは、流量制御弁50によって、生成ガス熱交換器14とガスタービン16とに供給されるメタンの割合が制御される。ここで、バイパス通路52を介してガスタービン16に供給されるメタンの割合は、0～100%である。

[0039] 以上説明した本実施形態によれば、上記第1の実施形態の上記(1-1)の効果に準じた効果と、上記第5の実施形態の上記(5-1)の効果に準じた効果を奏することができる。

[0040] <第7の実施形態>

図8に、本実施形態にかかる発電システムを示す。なお、図8において、図7に示した部材に対応する部材については、便宜上同一の符号を付している。

[0041] 図8に示すように、発電システムは、排ガス熱交換器18を備えない。また、発電システムは、生成ガス熱交換器14を迂回してガスタービン16にメタンを供給するバイパス通路52を備えている。

[0042] 詳しくは、発電システムは、流量制御弁50によって、生成ガス熱交換器14とガスタービン16とに供給されるメタンの割合が制御される。ここで、バイパス通路52を介してガスタービン16に供給されるメタンの割合は、0～100%である。

[0043] 発電システムは、さらに、生成ガス熱交換器14から流出する混合気を圧縮する圧縮機30を備える。圧縮機30は、ガスタービン16に供給される混合気の圧力を適切な圧力とするために、混合気を圧縮して加圧するように構成されている。

[0044] また、発電システムは、圧縮機30の上流側の混合気の熱によって、圧縮機30の下流側の混合気を加熱する上下流熱交換器32を備えている。

そして、バイパス通路 5 2 は、圧縮機 3 0 の上流において、上下流熱交換器 3 2 によって熱が奪われた混合気の流通経路に合流する。

[0045] 以上説明した本実施形態によれば、上記第 2 の実施形態の効果に準じた効果と、上記第 7 の実施形態の効果に準じた効果に加えて、以下の作用および効果を奏することができる。

[0046] (7-1) バイパス通路 5 2 を圧縮機 3 0 の上流に接続した。これにより、圧縮機の数を増やすことなく、バイパス通路 5 2 を介してガスタービン 1 6 に供給されるメタンの圧力を高めることができる。

[0047] <対応関係>

上記実施形態における事項と、下記「付記」の欄に記載した事項との対応関係は、次の通りである。以下では、「付記」の欄に記載した解決手段の番号毎に、対応関係を示している。[1, 2, 9] 炭化水素ガスは、メタンに対応する。「混合気をガスタービンの燃料とする」ことは、図 1, 図 3～図 8 において、ガスタービン 1 6 に、熱分解装置 1 0 から流出するメタンと水素との混合気を供給することに対応する。[3] 熱分解装置 1 0 にメタンが熱発生源として供給されることに対応する。[4, 5] 図 3、図 5 および図 8 に対応する。[6] 図 4 および図 5 に対応する。[7] 図 6～図 8 に対応する。[8] 図 6 に対応する。

[0048] <その他の実施形態>

なお、本実施形態は、以下のように変更して実施することができる。本実施形態および以下の変更例は、技術的に矛盾しない範囲で互いに組み合わせて実施することができる。

[0049] 「加熱器について」

・加熱器 1 2 において、メタンを熱分解するための熱を、メタンの燃焼によって生成することは必須ではない。たとえば、メタンを熱分解するための熱を、メタンを熱分解して得られたメタンと水素との混合気の燃焼によって生成してもよい。またたとえば、ガスタービン 1 6 の排ガスの熱を利用してもよい。

[0050] ・たとえば生成ガス熱交換器 14 によって加熱されたメタンの温度 T_3 が十分に高い場合には、加熱器 12 を備えなくてもよい。

「熱分解装置について」

・上記実施形態では、熱分解装置 10 から炭素が混合気とは別に取り出されるとしたが、これに限らない。たとえば、生成ガス熱交換器 14 には、混合気と炭素とが混ざった物質を供給してもよい。その場合、生成ガス熱交換器 14 の下流にサイクロン等を設けて、炭素を除去すればよい。

[0051] 「生成ガス熱交換器について」

・図 1、図 3～図 6 においては、生成ガス熱交換器 14 において加熱対象となるメタンを、常温のメタンが排ガスによって加熱されたメタンとしたが、これに限らない。たとえばメタンを燃焼させて得られた熱によって加熱されたメタンであってもよい。

[0052] ・図 1、図 3～図 6 において、生成ガス熱交換器 14 において加熱対象となるメタンを、常温のメタンとしてもよい。換言すれば、排ガス等によって加熱していなくてもよい。

・生成ガス熱交換器 14 を備えることは必須ではない。

[0053] 「上下流熱交換器について」

・図 3、図 5 および図 8 においては、上下流熱交換器 32 が、圧縮機 30 の下流の混合気を、圧縮機 30 の上流の混合気の熱のみによって加熱するように構成される例を示したが、これに限らない。たとえば、熱分解装置 10 から流出するメタンと水素との混合気の熱をさらに利用してもよい。

[0054] ・上下流熱交換器 32 を備えることは必須ではない。たとえば、圧縮機 30 の上流の混合気の熱を、常温のメタンを加熱することによって、生成ガス熱交換器 14 において加熱対象となるメタンとするために利用してもよい。また、圧縮機 30 の下流の混合気を、たとえば熱分解装置 10 から流出するメタンと水素との混合気によって加熱してもよい。

[0055] ・上下流熱交換器 32 に供給される混合気の温度と、上下流熱交換器 32 からガスタービン 16 に供給される混合気の温度とが、同一の温度であるこ

とは必須ではない。

「バイパスラインについて」

・図7および図8に例示した構成において、流量制御弁50と生成ガス熱交換器14との間に排ガス熱交換器18を備えてもよい。

[0056] ・バイパス通路52をバッファータンク40の入り口に接続してもよい。これは、図4に例示するように圧縮機30を備えない場合に有効である。なお、その場合、バイパス通路52に供給されるメタンを排ガス熱交換器18によって加熱しなくてもよい。

[0057] 「ガスタービンの燃料について」

・熱分解装置10等へ供給するメタンを、天然ガス等から抽出する構成として且つ、ガスタービン16の燃料に、水素とメタンとの混合気に加えて、液化天然ガスを含めてもよい。

[0058] 「炭化水素ガスについて」

・炭化水素ガスがメタンであることは必須ではない。たとえば、プロパンであってもよい。その場合、熱分解装置から流出する物質は、水素と炭素とに加えて、メタン、エチレン、プロパン等が含まれる。

[0059] <付記>

1. 熱分解装置と、ガスタービンと、を備え、前記熱分解装置は、炭化水素ガスを水素と炭素とに熱分解する装置であり、前記ガスタービンの燃料は、前記熱分解装置によって炭化水素ガスを熱分解することによって生成された炭化水素ガスと水素との混合気を含む発電システム。

[0060] 上記構成では、ガスタービンの燃料は、炭化水素ガスを熱分解することによって得られた炭化水素ガスと水素との混合器を含む。そのため、混合気から水素を取り出して選択的にガスタービンの燃料とする場合と比較して、混合気から水素を取り出す工程を省略できる。そのため、混合気から水素を抽出してタービンの燃料とする場合と比較して、発電効率を高めることができる。

[0061] 2. 生成ガス熱交換器を備え、前記生成ガス熱交換器は、前記熱分解装置

によって生成された前記混合気の熱を前記熱分解装置に供給する炭化水素ガスに与えるように構成されている上記 1 記載の発電システム。

[0062] 3. 前記熱分解装置は、炭化水素ガスを燃焼させた熱を前記熱分解に利用するように構成されている上記 1 または 2 記載の発電システム。

4. 圧縮機を備え、前記圧縮機は、前記ガスタービンに供給される前記混合気を圧縮するように構成されている上記 1 ～ 3 のいずれか 1 つに記載の発電システムである。

[0063] 5. 上下流熱交換器を備え、前記上下流熱交換器は、前記圧縮機に供給される前記混合気から熱を奪うことによって前記圧縮機に供給される前記混合気の温度を低下させて且つ、前記圧縮機によって圧縮された前記混合気に前記圧縮機に供給される前記混合気から奪われた熱を与えることによって、前記圧縮機によって圧縮された前記混合気の温度を上昇させるように構成されている上記 4 記載の発電システムである。

[0064] 6. バッファータンクを備え、前記バッファータンクは、前記熱分解装置によって生成された前記混合気が前記ガスタービンに供給されるのに先立って、前記混合気を蓄えるように構成されている上記 1 ～ 5 のいずれか 1 つに記載の発電システムである。

[0065] 7. バイパスラインを備え、前記バイパスラインは、前記炭化水素ガスを、前記熱分解装置を迂回して前記ガスタービンに供給するように構成されている上記 1 ～ 6 のいずれか 1 つに記載の発電システムである。

[0066] 8. 前記バイパスラインは、前記ガスタービンの排気の熱によって加熱されるように構成されている上記 7 記載の発電システム。

9. 前記炭化水素ガスは、メタンである上記 1 ～ 8 のいずれか 1 つに記載の発電システム。

請求の範囲

- [請求項1] 熱分解装置と、ガスタービンと、を備え、
前記熱分解装置は、炭化水素ガスを水素と炭素とに熱分解する装置であり、
前記ガスタービンの燃料は、前記熱分解装置によって炭化水素ガスを熱分解することによって生成された炭化水素ガスと水素との混合気を含む発電システム。
- [請求項2] 生成ガス熱交換器を備え、
前記生成ガス熱交換器は、前記熱分解装置によって生成された前記混合気の熱を前記熱分解装置に供給する炭化水素ガスに与えるように構成されている請求項1記載の発電システム。
- [請求項3] 前記熱分解装置は、炭化水素ガスを燃焼させた熱を前記熱分解に利用するように構成されている請求項1記載の発電システム。
- [請求項4] 圧縮機を備え、
前記圧縮機は、前記ガスタービンに供給される前記混合気を圧縮するように構成されている請求項1記載の発電システム。
- [請求項5] 上下流熱交換器を備え、
前記上下流熱交換器は、前記圧縮機に供給される前記混合気から熱を奪うことによって前記圧縮機に供給される前記混合気の温度を低下させて且つ、前記圧縮機によって圧縮された前記混合気に前記圧縮機に供給される前記混合気から奪われた熱を与えることによって、前記圧縮機によって圧縮された前記混合気の温度を上昇させるように構成されている請求項4記載の発電システム。
- [請求項6] バッファータンクを備え、
前記バッファータンクは、前記熱分解装置によって生成された前記混合気が前記ガスタービンに供給されるのに先立って、前記混合気を蓄えるように構成されている請求項1記載の発電システム。
- [請求項7] バイパスラインを備え、

前記バイパスラインは、前記炭化水素ガスを、前記熱分解装置を迂回して前記ガスタービンに供給するように構成されている請求項 1 記載の発電システム。

[請求項 8] 前記バイパスラインは、前記ガスタービンの排気の熱によって加熱されるように構成されている請求項 7 記載の発電システム。

[請求項 9] 前記炭化水素ガスは、メタンである請求項 1 記載の発電システム。