

明 細 書

発明の名称：

アンモニア分解システムおよびアンモニアを分解するための方法

技術分野

[0001] 本開示は、アンモニア分解システムおよびアンモニアを分解するための方法に関する。本出願は2023年11月22日に提出された日本特許出願第2023-198469号に基づく優先権の利益を主張するものであり、その内容は本出願に援用される。

背景技術

[0002] アンモニアは、 CO_2 を放出しない燃料として知られている。アンモニアは、難燃性を有する。したがって、アンモニアの少なくとも一部が、燃焼の前に、水素を含むガスに分解される場合がある。水素は、アンモニアに比してより容易に燃焼する。しかしながら、アンモニアからの分解ガスは高温になる。このような分解ガスは、配管の窒化および水素脆化等の問題を引き起こす可能性がある。

[0003] 例えば、特許文献1は、アンモニア分解装置を開示する。このアンモニア分解装置では、反応器から流れ出た分解ガスは、冷却器において冷却される。冷却器は、分解前の液体アンモニアと、分解ガスとの間で熱交換する。

先行技術文献

特許文献

[0004] 特許文献1：国際公開第2022/153719号

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0005] 特許文献1に開示されるように、例えば、分解ガスを冷却するためには、分解ガスの流路に熱交換器等の冷却器を設けることが考えられ得る。この場合、冷媒の供給システムが必要となる。また、熱交換器の出力を制御するために、制御システムが複雑化する。

[0006] 本開示は、アンモニアからの分解ガスを冷却することができる、アンモニア分解システムおよびアンモニアを分解するための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] 本開示の一態様に係るアンモニア分解システムは、アンモニアが供給される第1ラインと、第1ラインに設けられ、アンモニアから水素を含む分解ガスを生成する分解装置と、分解装置よりも下流の位置で第1ラインと流体連通する第2ラインであって、第1ラインを流れる分解ガスに液体アンモニアを供給し、混合ガスを生成する、第2ラインと、を備える。

[0008] アンモニア分解システムは、分解装置よりも下流の位置で第1ラインに設けられ、分解装置からの分解ガスと、第2ラインからの液体アンモニアと、を混合するミキサを備えてもよい。

[0009] アンモニア分解システムは、第1ラインおよび第2ラインと流体連通するタンクであって、当該タンクは、気体アンモニアおよび液体アンモニアを含む2相でアンモニアを貯留するチャンバを含み、第1ラインはチャンバの上部に接続され、第2ラインはチャンバの下部に接続される、タンクを備えてもよい。

[0010] アンモニア分解システムは、第1ラインおよび第2ラインと流体連通するタンクであって、当該タンクは、第1ラインおよび第2ラインの各々に液体アンモニアを供給する、タンクと、タンクと分解装置との間で第1ラインに設けられ、第1ラインを流れる液体アンモニアを加熱し、気体アンモニアを生成する気化器と、を備えてもよい。

[0011] アンモニア分解システムは、分解装置よりも上流の位置で第1ラインに設けられ、第1ラインを流れるアンモニアの流量を調整する第1アジャスタと、第2ラインに設けられ、第2ラインを流れる液体アンモニアの流量を調整する第2アジャスタと、第1アジャスタおよび第2アジャスタと通信可能に接続される制御装置であって、当該制御装置は、分解装置において分解される気体アンモニアの混合ガスにおける見かけの分解率を得ることと、混合ガ

スの温度を得ることと、見かけの分解率が所定の下限値を下回らないように、かつ、混合ガスの温度が所定の上限値を超えないように、第1アジャスタおよび第2アジャスタを制御することと、を実行するように構成される、制御装置と、を備えてもよい。

- [0012] 本開示の他の態様に係るアンモニアを分解するための方法は、第1ラインにアンモニアを供給することと、第1ラインに設けられた分解装置によって、アンモニアから水素を含む分解ガスを生成することと、分解装置よりも下流の位置で第1ラインと流体連通する第2ラインから、第1ラインを流れる分解ガスに液体アンモニアを供給し、混合ガスを生成することと、を含む。

発明の効果

- [0013] 本開示によれば、アンモニアからの分解ガスを冷却することができる。

図面の簡単な説明

- [0014] [図1]図1は、第1実施形態に係るアンモニア分解システムを示す概略図である。
- [図2]図2は、第2実施形態に係るアンモニア分解システムを示す概略図である。
- [図3]図3は、第3実施形態に係るアンモニア分解システムを示す概略図である。
- [図4]図4は、第4実施形態に係るアンモニア分解システムを示す概略図である。
- [図5]図5は、第4実施形態に係るアンモニア分解システムの動作の例を示すフローチャートである。
- [図6]図6は、第4実施形態に係るアンモニア分解システムの動作の他の例を示すフローチャートである。

発明を実施するための形態

- [0015] 以下に添付図面を参照しながら、本開示の実施形態について詳細に説明する。かかる実施形態に示す具体的な寸法、材料および数値等は、理解を容易とするための例示にすぎず、特に断る場合を除き、本開示を限定するもので

はない。なお、本明細書および図面において、実質的に同一の機能、構成を有する要素については、同一の符号を付することにより重複説明を省略し、また本開示に直接関係のない要素は図示を省略する。

[0016] 図1は、第1実施形態に係るアンモニア分解システム100を示す概略図である。本開示において、アンモニア分解システムは、単に「システム」とも称され得る。例えば、システム100は、第1タンク（アンモニア供給源）1と、第2タンク（液体アンモニア供給源）2と、分解装置3と、ミキサ4と、を備える。システム100は、他の構成要素をさらに備えてもよい。また、システム100は、上記の構成要素のうちの1つまたは複数を備えてなくてもよい。

[0017] 第1タンク1は、アンモニアを貯留する。例えば、本実施形態では、第1タンク1は、気体アンモニアX1を貯留する。第1タンク1は、第1ラインL1に接続される。例えば、第1ラインL1は、1つまたは複数の配管を含む。第1タンク1は、気体アンモニアX1を第1ラインL1に供給する。例えば、第1タンク1は、バルブを含んでもよく、バルブの開度および第1タンク1内の圧力に応じた流量で、第1ラインL1に気体アンモニアX1を供給してもよい。代替的にまたは追加的に、第1ラインL1は、気体アンモニアX1の流量を調整するためのコンプレッサおよびバルブを含んでもよい。例えば、他の実施形態では、第1タンク1に代えて、気体アンモニア製造装置がアンモニア供給源として用いられてもよい。

[0018] 第2タンク2は、液体アンモニアX2を貯留する。液体アンモニアX2は、低温で貯留される。例えば、大気圧下では、液体アンモニアX2は、 -33°C よりも低い温度で貯留される。第2タンク2は、第2ラインL2に接続される。例えば、第2ラインL2は、1つまたは複数の配管を含む。第2タンク2は、液体アンモニアX2を第2ラインL2に供給する。例えば、第2タンク2は、バルブを含んでもよく、バルブの開度および第2タンク2内の圧力に応じた流量で、第2ラインL2に液体アンモニアX2を供給してもよい。代替的にまたは追加的に、第2ラインL2は、液体アンモニアX2の流

量を調整するためのポンプおよびバルブを含んでもよい。例えば、他の実施形態では、第2タンク2に代えて、液体アンモニア製造装置が液体アンモニア供給源として用いられてもよい。

[0019] 分解装置3は、第1ラインL1に設けられる。分解装置3は、第1ラインL1を介して第1タンク1に接続され、第1タンク1と流体連通する。分解装置3には、第1ラインL1を介して、第1タンク1から気体アンモニアX1が供給される。分解装置3は、第1ラインL1を流れる気体アンモニアX1から、水素を含む分解ガスX3を生成する。なお、分解ガスX3には、分解されなかった未反応アンモニアが含まれてもよい。

[0020] 例えば、分解装置3は、アンモニアを加熱するヒータを含んでもよい。例えば、アンモニアを600～800℃程度に加熱すると、アンモニアの大部分を水素および窒素へと分解することができる。この場合、分解ガスX3は、600～800℃程度の高温になる。

[0021] 代替的にまたは追加的に、分解装置3は、アンモニアを水素および窒素へと分解する触媒を含んでもよい。一般的に、触媒は、所定の温度未満では不活性である。したがって、触媒は、所定の温度、例えば500～600℃程度に加熱される。この場合、分解ガスX3は、500～600℃程度の高温になる。

[0022] 例えば、触媒は、遷移元素（遷移金属とも称され得る）を含んでもよい。例えば、触媒は、Ru等の貴金属を含んでもよい。また、例えば、触媒は、遷移元素のうち、Fe、Co、NiおよびCu等の非貴金属を含んでもよい。非貴金属は、特定の担体と組み合わされる場合に、高い活性を示す場合がある。担体としては、例えば、Al₂O₃またはSiO₂等の酸化物が使用されてもよい。また、必要に応じて、CeO₂等のシンタリングを抑制することができる担体が使用されてもよい。

[0023] ミキサ4は、分解装置3よりも下流の位置において、第1ラインL1に設けられる。ミキサ4は、第1ラインL1を介して分解装置3に接続され、分解装置3と流体連通する。ミキサ4には、第1ラインL1を介して、分解装

置 3 から分解ガス X 3 が供給される。

[0024] 本実施形態では、第 2 ライン L 2 は、ミキサ 4 に直接的に接続される。ミキサ 4 は、第 2 ライン L 2 を介して、第 2 タンク 2 に接続され、第 2 タンク 2 と流体連通する。ミキサ 4 には、第 2 ライン L 2 を介して、第 2 タンク 2 から液体アンモニア X 2 が供給される。他の実施形態では、第 2 ライン L 2 は、分解装置 3 とミキサ 4 との間で、第 1 ライン L 1 に接続されてもよい。

[0025] ミキサ 4 は、分解装置 3 からの分解ガス X 3 と、第 2 ライン L 2 からの液体アンモニア X 2 と、を混合する。例えば、ミキサ 4 は、インラインミキサ等の様々なミキサであることができる。上記のように、分解ガス X 3 は、高温になる。したがって、液体アンモニア X 2 は、分解ガスからの熱によって気化する。また、分解ガス X 3 は、液体アンモニア X 2 の気化によって冷却される。その結果、ミキサ 4 で生成される混合ガス X 4 の温度は、分解装置 3 で生成される分解ガス X 3 の温度よりも低い。例えば、混合ガス X 4 は、気体アンモニア、液体アンモニア、水素および窒素を含み得る。

[0026] 例えば、混合ガス X 4 の温度が、意図した範囲よりも高い場合には、オペレータは、第 2 タンク 2 のバルブの開度を調整することによって、液体アンモニアの量を増やしてもよい。代替的にまたは追加的に、オペレータは、第 1 タンク 1 のバルブの開度を調整することによって、気体アンモニアの量を減らしてもよい。

[0027] 対照的に、例えば、混合ガス X 4 の温度が、意図した範囲よりも低い場合には、オペレータは、第 2 タンク 2 のバルブの開度を調整することによって、液体アンモニアの量を減らしてもよい。代替的にまたは追加的に、オペレータは、第 1 タンク 1 のバルブの開度を調整することによって、気体アンモニアの量を増やしてもよい。

[0028] 他の実施形態では、混合ガス X 4 の温度が意図した範囲内になるように、第 1 タンク 1 および第 2 タンク 2 の各々のバルブが、予め設定された開度に固定されてもよい。

[0029] 本実施形態では、システム 100 は、アンモニア分解システム 100 およ

び燃焼器 5 を含む燃焼システムに適用され、システム 100 からの混合ガス X 4 は、燃焼器 5 において燃料として使用される。例えば、燃焼器 5 は、ガスタービンまたはボイラ等の設備で使用されてもよい。燃焼器 5 を使用する設備は、これらに限定されない。他の実施形態では、システム 100 は、燃焼器 5 以外の他の装置を含む他のシステムに適用されてもよい。

[0030] 以上のようなシステム 100 は、気体アンモニア X 1 が供給される第 1 ライン L 1 と、第 1 ライン L 1 に設けられ、気体アンモニア X 1 から水素を含む分解ガス X 3 を生成する分解装置 3 と、分解装置 3 よりも下流の位置で第 1 ライン L 1 と流体連通する第 2 ライン L 2 であって、第 1 ライン L 1 を流れる分解ガス X 3 に液体アンモニア X 2 を供給し、混合ガス X 4 を生成する、第 2 ライン L 2 と、を備える。また、本実施形態に係る方法は、第 1 ライン L 1 に気体アンモニア X 1 を供給することと、第 1 ライン L 1 に設けられた分解装置 3 によって、気体アンモニア X 1 から水素を含む分解ガス X 3 を生成することと、分解装置 3 よりも下流の位置で第 1 ライン L 1 と流体連通する第 2 ライン L 2 から、第 1 ライン L 1 を流れる分解ガス X 3 に液体アンモニア X 2 を供給し、混合ガス X 4 を生成することと、を含む。これらの構成によれば、第 2 ライン L 2 からの液体アンモニア X 2 は、分解装置 3 からの分解ガス X 3 からの熱によって気化する。また、分解ガス X 3 は、液体アンモニア X 2 の気化によって冷却される。その結果、混合ガス X 4 の温度は、分解装置 3 で生成される分解ガス X 3 の温度よりも低い。したがって、分解ガス X 3 を冷却することができる。

[0031] また、システム 100 は、分解装置 3 よりも下流の位置で第 1 ライン L 1 に設けられ、分解装置 3 からの分解ガス X 3 と、第 2 ライン L 2 からの液体アンモニア X 2 と、を混合するミキサ 4 を備える。このような構成によれば、分解ガス X 3 をより均一に冷却することができる。

[0032] また、システム 100 は、第 1 ライン L 1 と流体連通し、気体アンモニア X 1 を貯留する第 1 タンク 1 と、第 2 ライン L 2 と流体連通し、液体アンモニア X 2 を貯留する第 2 タンク 2 と、を備えてもよい。

- [0033] 続いて、他の実施形態について説明する。
- [0034] 図2は、第2実施形態に係るアンモニア分解システム200を示す概略図である。システム200は、上記の第1タンク1および第2タンク2に代えて、システム200が第3タンク6を備える点で、上記のシステム100と異なる。その他の構成については、システム200は、システム100と同じであってもよい。
- [0035] 第3タンク6は、チャンバ61を含む。チャンバ61は、気体アンモニアX1および液体アンモニアX2を含む2相でアンモニアを貯留する。気体アンモニアX1は、チャンバ61の上部に貯留され、液体アンモニアX2は、チャンバ61の下部に貯留される。
- [0036] 第1ラインL1は、チャンバ61の上部に接続される。したがって、第3タンク6は、チャンバ61から第1ラインL1に気体アンモニアX1を供給する。例えば、第3タンク6は、第1ラインL1用のバルブを含んでもよく、バルブの開度およびチャンバ61内の圧力に応じた流量で、第1ラインL1に気体アンモニアX1を供給してもよい。
- [0037] 第2ラインL2は、チャンバ61の下部に接続される。したがって、第3タンク6は、チャンバ61から第2ラインL2に液体アンモニアX2を供給する。例えば、第3タンク6は、第2ラインL2用のバルブを含んでもよく、バルブの開度およびチャンバ61内の圧力に応じた流量で、第2ラインL2に液体アンモニアX2を供給してもよい。
- [0038] 以上のようなシステム200は、システム100と同様な効果を奏する。
- [0039] 特に、システム200は、第1ラインL1および第2ラインL2と流体連通する第3タンク6を備える。第3タンク6は、気体アンモニアX1および液体アンモニアX2を含む2相でアンモニアを貯留するチャンバ61を含む。第1ラインL1は、チャンバ61の上部に接続され、第2ラインL2は、チャンバ61の下部に接続される。このような構成によれば、気体アンモニアX1および液体アンモニアX2の双方を同じ第3タンク6で貯留することができる。したがって、タンクを設置するためのスペースおよびコストを低

減することができる。

[0040] 図3は、第3実施形態に係るアンモニア分解システム300を示す概略図である。システム300は、上記の第1タンク1および第2タンク2に代えて、システム300が第4タンク（液体アンモニア供給源）7および気化器8を備える点で、上記のシステム100と異なる。その他の構成については、システム300は、システム100と同じであってもよい。

[0041] 第4タンク7は、液体アンモニアX2を貯留する。第4タンク7は、第1ラインL1および第2ラインL2の双方に接続される。第4タンク7は、液体アンモニアX2を第1ラインL1および第2ラインL2の双方に供給する。したがって、本実施形態では、第1ラインL1は、気体アンモニアX1に代えて、液体アンモニアX2の供給を受ける。例えば、第4タンク7は、第1ラインL1および第2ラインL2の各々用のバルブを含んでもよく、バルブの開度および第4タンク7内の圧力に応じた流量で、第1ラインL1および第2ラインL2の各々に液体アンモニアX2を供給してもよい。

[0042] 気化器8は、第4タンク7および分解装置3の間で、第1ラインL1に設けられる。気化器8は、第1ラインL1を介して第4タンク7に接続され、第4タンク7と流体連通する。気化器8には、第1ラインL1を介して、第4タンク7から液体アンモニアX2が供給される。気化器8は、第1ラインL1を流れる液体アンモニアX2を加熱し、気体アンモニアX1を生成する。なお、気体アンモニアX1には、気化しなかった液体アンモニアが含まれてもよい。例えば、気化器8は、燃焼器5からの排ガスまたは海水等の液体アンモニアX2よりも高い温度を有する流体を熱媒体として使用してもよい。気化器8は、第1ラインL1を介して分解装置3に接続され、分解装置3と流体連通する。気化器8は、第1ラインL1を介して、分解装置3に気体アンモニアX1を供給する。

[0043] 上記のようなシステム300は、システム100と同様な効果を奏する。

[0044] 特に、システム300は、第1ラインL1および第2ラインL2と流体連通する第4タンク7であって、第4タンク7は、第1ラインL1および第2

ラインL 2の各々に液体アンモニアX 2を供給する、第4タンク7と、第4タンク7と分解装置3との間で第1ラインL 1に設けられ、第1ラインL 1を流れる液体アンモニアX 2を加熱し、気体アンモニアX 1を生成する気化器8と、を備える。このような構成によれば、第1ラインL 1および第2ラインL 2の双方に、同じ第4タンク7から液体アンモニアX 2を供給することができる。したがって、タンクを設置するためのスペースおよびコストを低減することができる。

[0045] 図4は、第4実施形態に係るアンモニア分解システム400を示す概略図である。システム400は、システム400が第1アジャスタA 1、第2アジャスタA 2、温度センサS、および、制御装置90を備える点で、上記のシステム100と異なる。その他の構成については、システム400は、システム100と同じであってもよい。

[0046] 第1アジャスタA 1は、分解装置3よりも上流の位置、本実施形態では第1タンク1と分解装置3との間で、第1ラインL 1に設けられる。第1アジャスタA 1は、第1ラインL 1を流れる気体アンモニアX 1の流量を調整する。例えば、第1アジャスタA 1は、気体アンモニアX 1の流量を測定可能で、かつ、気体アンモニアX 1の流量を調整可能なフローコントローラを含んでもよい。代替的にまたは追加的に、例えば、第1アジャスタA 1は、流量計と、少なくとも1つのバルブと、を含んでもよい。第1アジャスタA 1は、制御装置90と通信可能に接続され、測定データを制御装置90に送信する。制御装置90は、第1アジャスタA 1を制御することによって、第1ラインL 1を流れる気体アンモニアX 1の流量を調整するように構成される。

[0047] 第2アジャスタA 2は、第2ラインL 2に設けられる。本実施形態では、第2アジャスタA 2は、第2タンク2とミキサ4との間に設けられる。第2アジャスタA 2は、第2ラインL 2を流れる液体アンモニアX 2の流量を調整する。例えば、第2アジャスタA 2は、液体アンモニアX 2の流量を測定可能で、かつ、液体アンモニアX 2の流量を調整可能なフローコントローラ

を含んでもよい。代替的にまたは追加的に、例えば、第2アジャスタA2は、流量計と、少なくとも1つのバルブと、を含んでもよい。第2アジャスタA2は、制御装置90と通信可能に接続され、測定データを制御装置90に送信する。制御装置90は、第2アジャスタA2を制御することによって、第2ラインL2を流れる液体アンモニアX2の流量を調整するように構成される。

[0048] 温度センサSは、第2ラインL2との接続位置（ミキサ4）よりも下流の位置、本実施形態では、ミキサ4と燃焼器5との間で、第1ラインL1に設けられる。温度センサSは、第1ラインL1を流れる混合ガスX4の温度を測定する。温度センサSは、制御装置90と通信可能に接続され、測定データを制御装置90に送信する。

[0049] 制御装置90は、システム400の全体または一部を制御する。また、制御装置90は、燃焼器5を制御してもよく、さらに、システム400および燃焼器5を含む燃焼システムの全体を制御してもよい。例えば、制御装置90は、1つまたは複数のPCにより構成されてもよい。制御装置90は、例えば、プロセッサ90a、記憶装置90bおよびコネクタ90c等の構成要素を含み、これらの構成要素はバスを介して互いに接続される。例えば、プロセッサ90aは、CPU（Central Processing Unit）等を含む。例えば、記憶装置90bは、ハードディスク、プログラム等が格納されるROM、および、ワークエリアとしてのRAM等を含む。制御装置90は、コネクタ90cを介してシステム400の各構成要素および燃焼器5と有線または無線で通信可能に接続される。例えば、制御装置90は、液晶ディスプレイまたはタッチパネル等の表示装置、および、キーボード、ボタンまたはタッチパネル等の入力装置等、他の構成要素を更に含んでもよい。例えば、制御装置90の以下の動作は、記憶装置90bに記憶されるプログラムをプロセッサ90aに実行することによって、実現されてもよい。

[0050] 制御装置90は、分解装置3と通信可能に接続され、分解装置3の出力を制御する。制御装置90は、分解装置3の出力を制御することによって、分

解装置 3 における分解率を調整することができる。本開示において、「分解率」とは、分解装置 3 に流入する気体アンモニア X 1 の量に対する、分解装置 3 において分解される気体アンモニア X 1 の量の割合として定義されてもよい。例えば、制御装置 90 は、分解装置 3 の出力と、気体アンモニア X 1 の流量と、分解率との間の関係を示すマップまたは式を、記憶装置 90 b に予め記憶してもよい。これらのマップまたは式は、分解装置 3 の出力および気体アンモニア X 1 の流量に応じた、分解率を示す。また、例えば、制御装置 90 は、分解装置 3 の出力と、気体アンモニア X 1 の流量と、分解装置 3 の出口における分解ガス X 3 の温度との間の関係を示すマップまたは式を、記憶装置 90 b に予め記憶してもよい。これらのマップまたは式は、分解装置 3 の出力および気体アンモニア X 1 の流量に応じた、分解ガス X 3 の温度を示す。例えば、これらのマップおよび式は、実験または解析によって決定されてもよい。

[0051] 例えば、制御装置 90 は、分解装置 3 の出力、第 1 アジャスタ A 1 から受信する気体アンモニア X 1 の流量 FG_0 、および、記憶されたマップまたは式に基づいて、分解装置 3 の出口における分解率 R_1 、および、分解装置 3 において分解される気体アンモニア X 1 の量 FG_1 を算出してもよい。また、制御装置 90 は、分解装置 3 の出力、気体アンモニア X 1 の流量 FG_0 、および、記憶されたマップまたは式に基づいて、分解装置 3 の出口における分解ガス X 3 の温度 T_1 を算出してもよい。

[0052] 制御装置 90 は、気体アンモニア X 1 の流量 FG_0 、分解される気体アンモニア X 1 の量 FG_1 、分解ガス X 3 の温度 T_1 、および、第 2 アジャスタ A 2 から受信する液体アンモニア X 2 の流量 FL_0 に基づいて、ミキサ 4 において液体アンモニア X 2 から気化される気体アンモニアの量 FL_1 、および、ミキサ 4 の出口における混合ガス X 4 の温度 T_2 を算出してもよい。

[0053] 制御装置 90 は、気体アンモニア X 1 の流量 FG_0 、分解される気体アンモニア X 1 の量 FG_1 、および、液体アンモニア X 2 から気化される気体アンモニアの量 FL_1 に基づいて、混合ガス X 4 における見かけの分解率 R_2

を算出してもよい。本開示において、「見かけの分解率」とは、分解装置 3 に流入する気体アンモニア X 1 の量、および、ミキサ 4 に流入する液体アンモニア X 2 の量の合計に対する、分解装置 3 において分解される気体アンモニア X 1 の量の割合と定義されてもよい。見かけの分解率 R 2 は、混合ガス X 4 中の水素の濃度と相関する。

[0054] 例えば、分解ガス X 3 の温度 T 1 を低減するためには、液体アンモニア X 2 の流量を増加させることができる。しかしながら、液体アンモニア X 2 の流量を過度に増加させると、ミキサ 4 において液体アンモニア X 2 から気化される気体アンモニアの量が増加する。したがって、混合ガス X 4 中の気体アンモニアの濃度が増加し、混合ガス X 4 中の水素の濃度が低下する。すなわち、混合ガス X 4 における見かけの分解率 R 2 が低下する。これは、混合ガス X 4 の燃焼性の低下に繋がる。よって、制御装置 9 0 は、温度センサ S から受信する混合ガス X 4 の温度 T 2、または、上記のように算出される混合ガス X 4 の温度 T 2 が、所定の上限值を超えないように、かつ、上記のように算出される見かけの分解率 R 2 が、所定の下限値を下回らないように、第 1 アジャスタ A 1 および第 2 アジャスタ A 2 を制御して、気体アンモニア X 1 の流量および液体アンモニア X 2 の流量を調整してもよい。

[0055] 図 5 は、第 4 実施形態に係るアンモニア分解システム 4 0 0 の動作の例を示すフローチャートである。

[0056] 例えば、気体アンモニア X 1 の流量が制限される状態で、燃焼器 5 へ供給される総燃料（燃焼器 5 の出力）を増加させる場合、システム 4 0 0 は、図 5 に示されるように動作してもよい。例えば、図 5 に示される動作は、システム 4 0 0 が、燃焼器 5 の出力を増加させるように指令を受信した場合に、開始されてもよい。例えば、この状態では、温度センサ S から受信する混合ガス X 4 の温度 T 2、または、算出される混合ガス X 4 の温度 T 2 は、上限値以下であり、かつ、算出される見かけの分解率 R 2 は、下限値以上である。

[0057] プロセッサ 9 0 a は、燃焼器 5 の目標出力と、気体アンモニア X 1 の流量

F G 0とに基づいて、燃焼器 5 の目標出力に必要な液体アンモニア X 2 の目標流量を算出する（ステップ S 1 0 0）。例えば、プロセッサ 9 0 a は、目標出力と、流量 F G 0 の気体アンモニア X 1 によって得られる燃焼器 5 の出力との間の出力の差を算出し、算出された出力の差を得るために必要な液体アンモニア X 2 の流量を算出してもよい。

[0058] プロセッサ 9 0 a は、ステップ S 1 0 0 で算出された液体アンモニア X 2 の目標流量と、気体アンモニア X 1 の流量 F G 0 とに基づいて、見かけの分解率 R 2 を算出する（ステップ S 1 0 2）。上記のように、プロセッサ 9 0 a は、記憶装置 9 0 b に記憶されたマップまたは式を使用して、見かけの分解率 R 2 を算出することができる。

[0059] プロセッサ 9 0 a は、ステップ S 1 0 2 で算出された見かけの分解率 R 2 が、所定の許容範囲内であるか否かを判定する（ステップ S 1 0 4）。例えば、制御装置 9 0 は、許容範囲を記憶装置 9 0 b に予め記憶してもよく、プロセッサ 9 0 a は、算出された見かけの分解率 R 2 が、記憶装置 9 0 b に記憶された許容範囲内か否かを判定してもよい。特に、プロセッサ 9 0 a は、見かけの分解率 R 2 が、下限値を下回らないか否かを判定してもよい。

[0060] ステップ S 1 0 4 において、見かけの分解率 R 2 が許容範囲内である場合（YES）、プロセッサ 9 0 a は、第 2 アジャスタ A 2 を制御し、ステップ S 1 0 0 で算出された目標流量まで、液体アンモニア X 2 の流量 F L 0 を増加させ（ステップ S 1 0 6）、動作を終了する。なお、液体アンモニア X 2 の流量 F L 0 を増加させる場合、混合ガス X 4 の温度 T 2 は低下する。したがって、混合ガス X 4 の温度 T 2 は上限値を超えない。

[0061] ステップ S 1 0 4 において、見かけの分解率 R 2 が許容範囲内でない場合（NO）、プロセッサ 9 0 a は、動作を終了する。この場合、例えば、制御装置 9 0 は、燃焼器 5 の出力を目標出力まで増加できないことを、表示または音声によってオペレータに報知してもよい。

[0062] 図 6 は、第 4 実施形態に係るアンモニア分解システム 4 0 0 の動作の他の例を示すフローチャートである。

- [0063] 例えば、液体アンモニアX2の流量が制限される状態で、燃焼器5へ供給される総燃料（燃焼器5の出力）を増加させる場合、システム400は、図6に示されるように動作してもよい。例えば、図6に示される動作は、システム400が、燃焼器5の出力を増加させるように指令を受信した場合に、開始されてもよい。例えば、この状態では、温度センサSから受信する混合ガスX4の温度、または、算出される混合ガスX4の温度T2は、上限値以下であり、かつ、算出される見かけの分解率R2は、下限値以上である。
- [0064] プロセッサ90aは、燃焼器5の目標出力と、液体アンモニアX2の流量FL0とに基づいて、燃焼器5の目標出力に必要な気体アンモニアX1の目標流量を算出する（ステップS200）。例えば、プロセッサ90aは、目標出力と、流量FL0の液体アンモニアX2によって得られる燃焼器5の出力との間の出力の差を算出し、算出された出力の差を得るために必要な気体アンモニアX1の流量を算出してもよい。
- [0065] プロセッサ90aは、ステップS200で算出された気体アンモニアX1の目標流量と、液体アンモニアX2の流量FL0とに基づいて、ミキサ4の出口における混合ガスX4の温度T2を算出する（ステップS202）。上記のように、プロセッサ90aは、記憶装置90bに記憶されたマップまたは式を使用して、温度T2を算出することができる。
- [0066] プロセッサ90aは、ステップS202で算出された混合ガスX4の温度T2が、所定の許容範囲内であるか否かを判定する（ステップS204）。例えば、制御装置90は、許容範囲を記憶装置90bに予め記憶してもよく、プロセッサ90aは、算出された温度T2が、記憶装置90bに記憶された許容範囲内か否かを判定してもよい。特に、プロセッサ90aは、温度T2が、上限値を超えないか否かを判定してもよい。
- [0067] ステップS204において、混合ガスX4の温度T2が許容範囲内である場合（YES）、プロセッサ90aは、第1アジャスタA1を制御し、ステップS200で算出された目標流量まで、気体アンモニアX1の流量FG0を増加させ（ステップS206）、動作を終了する。なお、気体アンモニア

X 1 の流量 F G 0 を増加させる場合、見かけの分解率 R 2 は増加する。したがって、見かけの分解率 R 2 は下限値を下回らない。

[0068] ステップ S 2 0 4 において、混合ガス X 4 の温度 T 2 が許容範囲内でない場合 (N O)、プロセッサ 9 0 a は、動作を終了する。この場合、例えば、制御装置 9 0 は、燃焼器 5 の出力を目標出力まで増加できないことを、表示または音声によってオペレータに報知してもよい。

[0069] 上記のようなシステム 4 0 0 は、システム 1 0 0 と同様な効果を奏する。

[0070] 特に、システム 4 0 0 は、分解装置 3 よりも上流の位置で第 1 ライン L 1 に設けられ、第 1 ライン L 1 を流れる気体アンモニア X 1 の流量 F G 0 を調整する第 1 アジャスタ A 1 と、第 2 ライン L 2 に設けられ、第 2 ライン L 2 を流れる液体アンモニア X 2 の流量 F L 0 を調整する第 2 アジャスタ A 2 と、第 1 アジャスタ A 1 および第 2 アジャスタ A 2 と通信可能に接続される制御装置 9 0 と、を備える。制御装置 9 0 は、分解装置 3 において分解される気体アンモニア X 1 の混合ガス X 4 における見かけの分解率 R 2 を得ることと、混合ガス X 4 の温度 T 2 を得ることと、見かけの分解率 R 2 が所定の下限値を下回らないように、かつ、混合ガス X 4 の温度 T 2 が所定の上限値を超えないように、第 1 アジャスタ A 1 および第 2 アジャスタ A 2 を制御することと、を実行するように構成される。このような構成によれば、分解ガス X 3 を冷却しつつ、混合ガス X 4 の燃焼性を維持することができる。

[0071] 以上、添付図面を参照しながら実施形態について説明したが、本開示は上記実施形態に限定されない。当業者であれば、特許請求の範囲に記載された範疇において、各種の変更例または修正例に想到し得ることは明らかであり、それらについても当然に本開示の技術的範囲に属するものと了解される。

[0072] 例えば、上記の実施形態では、システム 1 0 0, 2 0 0, 3 0 0, 4 0 0 は、第 1 ライン L 1 にミキサ 4 を備える。他の実施形態では、システムは、ミキサ 4 に代えて、インジェクタを備えてもよい。インジェクタは、第 2 ライン L 2 に接続され、分解装置 3 よりも下流の位置で第 1 ライン L 1 に設けられる。インジェクタは、第 1 ライン L 1 を流れる分解ガス X 3 に液体アン

モニアを噴射する。

[0073] また、例えば、第4実施形態に係るシステム400では、第1実施形態に係るシステム100に対して、第1アジャスタA1、第2アジャスタA2、温度センサS、および、制御装置90が追加される。他の実施形態では、第2実施形態に係るシステム200または第3実施形態に係るシステム300に対して、第1アジャスタA1、第2アジャスタA2、温度センサS、および、制御装置90が追加されてもよい。

[0074] 本開示は、CO₂放出の削減につながるアンモニアの使用を促進することができるので、例えば、持続可能な開発目標（SDGs）の目標7「手ごろで信頼でき、持続可能かつ近代的なエネルギーへのアクセスを確保する」に貢献することができる。

符号の説明

[0075]	3	分解装置
	4	ミキサ
	6	第3タンク
	7	第4タンク
	8	気化器
	61	チャンバ
	90	制御装置
	100	アンモニア分解システム
	200	アンモニア分解システム
	300	アンモニア分解システム
	400	アンモニア分解システム
	A1	第1アジャスタ
	A2	第2アジャスタ
	FG0	第1ラインを流れるアンモニアの流量
	FL0	第2ラインを流れる液体アンモニアの流量
	L1	第1ライン

L 2	第 2 ライン
R 2	見かけの分解率
T 2	混合ガスの温度
X 1	気体アンモニア
X 2	液体アンモニア
X 3	分解ガス
X 4	混合ガス

請求の範囲

- [請求項1] アンモニアが供給される第1ラインと、
前記第1ラインに設けられ、前記アンモニアから水素を含む分解ガスを生成する分解装置と、
前記分解装置よりも下流の位置で前記第1ラインと流体連通する第2ラインであって、前記第1ラインを流れる前記分解ガスに液体アンモニアを供給し、混合ガスを生成する、第2ラインと、
を備える、アンモニア分解システム。
- [請求項2] 前記分解装置よりも下流の位置で前記第1ラインに設けられ、前記分解装置からの前記分解ガスと、前記第2ラインからの前記液体アンモニアと、を混合するミキサを備える、請求項1に記載のアンモニア分解システム。
- [請求項3] 前記第1ラインおよび前記第2ラインと流体連通するタンクであって、当該タンクは、気体アンモニアおよび液体アンモニアを含む2相でアンモニアを貯留するチャンバを含み、前記第1ラインは前記チャンバの上部に接続され、前記第2ラインは前記チャンバの下部に接続される、タンクを備える、請求項1または2に記載のアンモニア分解システム。
- [請求項4] 前記第1ラインおよび前記第2ラインと流体連通するタンクであって、当該タンクは、前記第1ラインおよび前記第2ラインの各々に液体アンモニアを供給する、タンクと、
前記タンクと前記分解装置との間で前記第1ラインに設けられ、前記第1ラインを流れる前記液体アンモニアを加熱し、気体アンモニアを生成する気化器と、
を備える、請求項1または2に記載のアンモニア分解システム。
- [請求項5] 前記分解装置よりも上流の位置で前記第1ラインに設けられ、前記第1ラインを流れる前記アンモニアの流量を調整する第1アジャスタと、

前記第 2 ラインに設けられ、前記第 2 ラインを流れる前記液体アンモニアの流量を調整する第 2 アジャスタと、

前記第 1 アジャスタおよび前記第 2 アジャスタと通信可能に接続される制御装置であって、

当該制御装置は、

前記分解装置において分解される気体アンモニアの前記混合ガスにおける見かけの分解率を得ることと、

前記混合ガスの温度を得ることと、

前記見かけの分解率が所定の下限値を下回らないように、かつ、前記混合ガスの温度が所定の上限値を超えないように、前記第 1 アジャスタおよび前記第 2 アジャスタを制御することと、

を実行するように構成される、制御装置と、

を備える、請求項 1 または 2 に記載のアンモニア分解システム。

[請求項 6]

前記分解装置よりも上流の位置で前記第 1 ラインに設けられ、前記第 1 ラインを流れる前記アンモニアの流量を調整する第 1 アジャスタと、

前記第 2 ラインに設けられ、前記第 2 ラインを流れる前記液体アンモニアの流量を調整する第 2 アジャスタと、

前記第 1 アジャスタおよび前記第 2 アジャスタと通信可能に接続される制御装置であって、

当該制御装置は、

前記分解装置において分解される気体アンモニアの前記混合ガスにおける見かけの分解率を得ることと、

前記混合ガスの温度を得ることと、

前記見かけの分解率が所定の下限値を下回らないように、かつ、前記混合ガスの温度が所定の上限値を超えないように、前記第 1 アジャスタおよび前記第 2 アジャスタを制御することと、

を実行するように構成される、制御装置と、

を備える、請求項 3 に記載のアンモニア分解システム。

[請求項 7]

前記分解装置よりも上流の位置で前記第 1 ラインに設けられ、前記第 1 ラインを流れる前記アンモニアの流量を調整する第 1 アジャスタと、

前記第 2 ラインに設けられ、前記第 2 ラインを流れる前記液体アンモニアの流量を調整する第 2 アジャスタと、

前記第 1 アジャスタおよび前記第 2 アジャスタと通信可能に接続される制御装置であって、

当該制御装置は、

前記分解装置において分解される気体アンモニアの前記混合ガスにおける見かけの分解率を得ることと、

前記混合ガスの温度を得ることと、

前記見かけの分解率が所定の下限値を下回らないように、かつ、前記混合ガスの温度が所定の上限値を超えないように、前記第 1 アジャスタおよび前記第 2 アジャスタを制御することと、

を実行するように構成される、制御装置と、

を備える、請求項 4 に記載のアンモニア分解システム。

[請求項 8]

第 1 ラインにアンモニアを供給することと、

前記第 1 ラインに設けられた分解装置によって、前記アンモニアから水素を含む分解ガスを生成することと、

前記分解装置よりも下流の位置で前記第 1 ラインと流体連通する第 2 ラインから、前記第 1 ラインを流れる前記分解ガスに液体アンモニアを供給し、混合ガスを生成することと、

を含む、アンモニアを分解するための方法。