

明細書

天然ガス液化システムおよび液化天然ガスの製造方法

NATURAL GAS LIQUEFACTION SYSTEM AND METHOD FOR PRODUCING LIQUEFIED NATURAL GAS

技術分野

【0001】

本発明は、天然ガス液化システムおよび液化天然ガスの製造方法に関する。

背景技術

【0002】

ガス田から産出される天然ガスには二酸化炭素等の酸性ガスが含まれており、ガス井でガス精製を行って二酸化炭素を除去した後、天然ガスをパイプラインでプラントに輸送し、プラントで天然ガスを液化して、液化天然ガス（LNG）として出荷している。ガス精製としては、一般には、天然ガスをアミン吸収液に気液接触させて除去する化学吸収法や物理吸収法、あるいは、CO₂選択透過膜を用いた膜分離法が知られている。

【0003】

特開2004-77075号公報には、液化天然ガスの製造方法において、天然ガスを液化する前に天然ガスからCO₂を除去するためにアミン吸収液を用いる方法が開示されている。

発明の概要

【0004】

ガス田で産出される天然ガスに二酸化炭素が高濃度に含有される場合、アミン吸収法では、二酸化炭素を吸収したアミン吸収液の再生に大きなエネルギーを消費する。二酸化炭素を含む天然ガスをパイプラインで輸送すると、必要な動力が大きくなり、経済性が顕著に低下するという問題がある。

【0005】

そこで本発明は、上記の問題点に鑑み、ガス田で産出される天然ガスに二酸化炭素が高濃度に含有される場合に、少ないエネルギーで天然ガスから二酸化炭素を除去して液化することができる天然ガス液化システムおよび液化天然ガスの製造方法を提供することを目的とする。

【0006】

上記の目的を達成するために、本発明は、その一態様として、天然ガス液化システムであって、この天然ガス液化システムは、二酸化炭素を含有する天然ガスから、二酸化炭素を液体として除去する気液分離装置と、前記除去した二酸化炭素によって、前記二酸化炭素を含有する天然ガスを予冷する予冷装置と、前記二酸化炭素を除去した天然ガスを、冷却して液化天然ガス（LNG）を得る天然ガス液化装置とを備えるものである。

【0007】

前記気液分離装置は、天然ガスを圧縮冷却し、天然ガス中の二酸化炭素の一部を液化するとともに、この液化した二酸化炭素の気化熱を利用して天然ガスを更に冷却して、天然

ガス中に残る二酸化炭素の一部を液化し、天然ガスの主成分であるメタンガスと液体二酸化炭素とを気液分離する装置が好ましい。本発明の天然ガス液化システムは、前記気液分離装置からの前記除去した二酸化炭素を、気化して前記予冷装置に供給する気化手段を更に備えてもよい。この場合、前記気化手段により生じた炭酸ガスを、液体二酸化炭素と分離する気液分離器を更に備えてもよい。または、本発明の天然ガス液化システムは、前記予冷装置が、前記除去した二酸化炭素を液体のまま、前記予冷に使用してよい。

【0008】

本発明の天然ガス液化システムは、前記気液分離装置で二酸化炭素を除去した後の天然ガスに、更に二酸化炭素吸収液を接触させて、天然ガスから更に二酸化炭素を除去する二酸化炭素吸収除去装置を更に備えてもよい。

【0009】

本発明は、また別の態様として、液化天然ガスの製造方法であって、この液化天然ガスの製造方法は、二酸化炭素を含有する天然ガスから、二酸化炭素を液体として除去するステップと、前記除去した二酸化炭素によって、前記二酸化炭素を含有する天然ガスを予冷するステップと、前記二酸化炭素を除去した天然ガスを、冷却して液化天然ガス（LNG）を得るステップとを含む。

【0010】

前記二酸化炭素を液体として除去するステップは、天然ガスを圧縮冷却し、天然ガス中の一部の二酸化炭素を液化するサブステップと、前記液化した二酸化炭素の気化熱を利用して天然ガスを更に冷却して、天然ガス中に残る二酸化炭素の一部を液化するサブステップと、天然ガスの主成分であるメタンガスと液体二酸化炭素とを気液分離するサブステップとを更に含むことが好ましい。本発明の天然ガスの製造方法は、前記除去した二酸化炭素を、気化して又は液体のまま、前記予冷に使用してもよい。

【0011】

本発明の天然ガスの製造方法は、前記二酸化炭素を液体として除去するステップの後に、更に二酸化炭素吸収液を接触させて、天然ガスから更に二酸化炭素を除去するステップを更に備えてもよい。

【0012】

本発明によれば、天然ガス中に二酸化炭素が高濃度で含有されている場合、二酸化炭素が液化する温度まで天然ガスを冷却することで、液体二酸化炭素と天然ガスの主成分であるメタンガスとを気液分離することができ、更にこの除去した液体二酸化炭素を用いて、二酸化炭素を除去する前の天然ガスの予冷に用いることで、アミン吸収法のみによって二酸化炭素を除去する場合と比べて、天然ガスから二酸化炭素の除去に要するエネルギーを顕著に低下させることができるだけでなく、ガス田から産出される天然ガスからLNGを得るまでに要するエネルギーをも顕著に低下させることができる。

図面の簡単な説明

【0013】

図1は、本発明に係る天然ガス液化システムの一実施の形態を示す模式図である。

図2は、本発明に係る天然ガス液化システムの別の実施の形態を示す模式図である。

図 3 は、比較例の天然ガス液化システムを示す模式図である。

発明を実施するための形態

【0014】

以下、添付図面を参照して、本発明に係る天然ガス液化システムおよび液化天然ガスの製造方法の一実施の形態について説明する。

【0015】

図 1 に示すように、本実施の形態の天然ガス液化システムは、ガス田 10 から産出される天然ガスを予冷する熱交換器 20 と、予冷した天然ガスから二酸化炭素を除去する CO_2 除去部 30 と、二酸化炭素を除去した天然ガスを液化して液化天然ガス (LNG) を得る天然ガス液化部 40 とを主に備える。 CO_2 除去部 30 は、詳細は後述するが、 CO_2 液化除去装置 31 と、任意の CO_2 吸収装置 50 とを備える。天然ガス液化部 40 は、詳細は後述するが、二酸化炭素が除去された天然ガスを冷却する天然ガス冷却装置 41 と、冷却した天然ガスを流通可能な LNG とする天然ガス液化装置 43 とを備える。

【0016】

本発明の処理対象となる天然ガスは、主に、二酸化炭素を高濃度で含有する天然ガスである。ここでの高濃度とは、例えば、10～90mol%であり、特に30～70mol%である。このような高濃度の二酸化炭素を産出するガス田 10 は、海洋ガス田が多く、本発明の天然ガス液化システムは、洋上で天然ガスを精製、液化、貯蔵、積出を行う浮体式の生産設備、いわゆるフローティング LNG に適用することを想定しているが、もちろん、海底に固定する固定式 of 生産設備に適用してもよいし、陸上ガス田の LNG 生産設備にも適用してもよい。

【0017】

ガス田 10 からの天然ガス供給ライン 11 には、先ず、熱交換器 20 が設けられている。この熱交換器 20 は、ガス田 10 から産出される天然ガスと、この天然ガスから除去、回収した二酸化炭素ガスとの間で熱交換して、天然ガスを予冷する機器である。

【0018】

熱交換器 20 と CO_2 液化除去装置 31 とは、予冷した天然ガスが流れる天然ガス供給ライン 21 を介して接続されている。 CO_2 液化除去装置 31 は、天然ガスを圧縮冷却し、一部の液化した CO_2 の気化熱を利用して更に冷却して、天然ガス中に含まれる二酸化炭素の大部分を液化し、天然ガスの主成分であるメタンガスと液体二酸化炭素とを気液分離する装置である。二酸化炭素は、0℃における蒸気圧が 3.4MPa・G 程度であり、圧縮と冷却により比較的容易に液化できるためと天然ガス主成分であるメタンとの気液分離が可能となる。

【0019】

CO_2 液化除去装置 31 と CO_2 吸収装置 50 とは、二酸化炭素が除去された天然ガスが流れる天然ガス供給ライン 32 を介して接続されている。また、 CO_2 液化除去装置 31 と熱交換器 20 との間には、液化された液体二酸化炭素が流れる CO_2 回収ライン 33 と、液体二酸化炭素と気化した炭酸ガスとを気液分離する気液分離器 34 と、気化した炭酸ガスが流れる CO_2 供給ライン 35 が設けられている。更に、気液分離器 34 と CO_2 液化除

去装置 3 1 との間には、この液体二酸化炭素が流れる CO_2 戻りライン 3 6 が設けられている。液体二酸化炭素は、 CO_2 液化除去装置 3 1 で気化し、その気化熱で天然ガス中の CO_2 が液化分離される。 CO_2 液化除去装置 3 1 には、この液化分離に利用された炭酸ガスを排出する CO_2 排出ライン 3 8 が更に設けられている。

【0020】

気液分離器 3 4 は、ライン 3 3 での圧力損失や放熱で気化した炭酸ガスを分離することができる機器である。この減圧、膨張によって二酸化炭素は例えば約 -100°C と温度が更に低下するので、気液分離器 3 4、 CO_2 供給ライン 3 5 および CO_2 戻りライン 3 6 は、このような低温の炭酸ガスを熱交換器 2 0 に供給できる構造のものを用いる。熱交換器 2 0 には、熱交換に利用された炭酸ガスを排出する CO_2 排出ライン 3 7 が更に設けられている。

【0021】

CO_2 吸収装置 5 0 は、 CO_2 液化除去装置 3 1 によって除去できなかった微量の二酸化炭素を除去するために設けられる任意の装置である。 CO_2 吸収装置 5 0 としては、天然ガス中に二酸化炭素吸収液を噴射して気液接触させ、天然ガス中の二酸化炭素を吸収液で吸収、除去する従来の装置を用いることができ、通常、天然ガスに吸収液を接触させる吸収塔（図示省略）と、二酸化炭素を吸収した吸収液を加熱して二酸化炭素を放出させて吸収液を再生する再生塔（図示省略）等の設備を備える。二酸化炭素吸収液としては、モノエタノールアミン等のアミン系吸収液を用いることができる。本実施の形態では、 CO_2 吸収装置 5 0 の前に CO_2 液化除去装置 3 1 で大部分の二酸化炭素を除去しているので、吸収液の再生に要するエネルギーは、 CO_2 液化除去装置 3 1 を設けない場合に比べて、顕著に低くすることができる。

【0022】

CO_2 吸収装置 5 0 と天然ガス冷却装置 4 1 とは、微量の二酸化炭素をも除去された天然ガスが流れる天然ガス供給ライン 5 1 で接続されている。なお、 CO_2 吸収装置 5 0 を設置しない場合、 CO_2 液化除去装置 3 1 と天然ガス冷却装置 4 1 とが、上述した天然ガス供給ライン 3 2 で接続される。

【0023】

天然ガス冷却装置 4 1 は、加圧状態での天然ガスを冷媒で冷却する装置であり、公知の天然ガス冷却用の装置を用いることができる。天然ガス冷却装置 4 1 は、冷媒を繰り返し使用するために加圧、冷却するコンプレッサを備えている。冷媒としては、公知の天然ガス冷却用の冷媒を使用することができ、例えば、プロパン、エタン等の混合冷媒等がある。

【0024】

天然ガス冷却装置 4 1 と天然ガス液化装置 4 3 とは、冷却した天然ガスが流れる天然ガス供給ライン 4 2 で接続されている。天然ガス液化装置 4 3 は、冷却した天然ガスを大気圧近傍まで膨張させて、流通可能な大気圧近傍の液化天然ガス（LNG）を得る装置であり、公知の天然ガス液化用の装置を用いることができる。天然ガス液化装置 4 3 には、LNG を貯蔵または積出するための LNG 供給ライン 4 4 が設けられている。

【0025】

このような構成を備える天然ガス液化システムによれば、先ず、ガス田 1 0 から産出さ

れた天然ガスは、温度天然ガス供給ライン 11 を介して熱交換器 20 に供給する。このとき天然ガスは、一般に、圧力が約 1～9 MPa・G、温度が約 0～200℃である。圧力が足りない場合は、任意の圧縮機（図示省略）で圧縮してもよい。そして、熱交換器 20 で CO₂ 供給ライン 35 からの炭酸ガスによって予冷する。

【0026】

次に、予冷した天然ガスは、天然ガス供給ライン 21 を介して CO₂ 除去部 30 の CO₂ 液化除去装置 31 に供給し、先ず、圧縮冷却することで、天然ガス中の二酸化炭素の一部を液化し、天然ガスから気液分離する。そして、この液化した二酸化炭素の気化熱を利用して更に冷却する。これにより、天然ガス中の二酸化炭素の濃度を、例えば約 10 mol % 以下にまで低下させることができる。

【0027】

分離した液体二酸化炭素は、CO₂ 回収ライン 33 を介して気液分離器 34 に供給し、ライン 33 での圧力損失や放熱により気化した炭酸ガスを分離する。分離した炭酸ガスは、飽和蒸気温度であるため冷熱として利用できるため、CO₂ 供給ライン 35 を介して熱交換器 20 に供給し、天然ガスを冷却する。また、気液分離器 34 で分離した低温の液化二酸化炭素は、CO₂ 戻りライン 36 を介して、CO₂ 液化除去装置 31 に供給し、気化させ天然ガス中の二酸化炭素の液化に用いる。熱交換器 20 および CO₂ 液化除去装置 31 で冷却に用いた炭酸ガスは、それぞれ CO₂ 排出ライン 37 および CO₂ 排出ライン 38 を介して大気に放出するか又は所定の回収設備（図示省略）に送る。

【0028】

二酸化炭素を液化分離した天然ガスは、更に二酸化炭素の濃度を下げるために、天然ガス供給ライン 32 を介して CO₂ 吸収装置 50 に供給し、吸収液によって天然ガス中の二酸化炭素を除去する。CO₂ 吸収装置 50 によって、天然ガス中の二酸化炭素の濃度を、例えば約 0～0.5 mol % 未満まで低下させることができる。

【0029】

このようにして二酸化炭素を除去した天然ガスは、天然ガス供給ライン 51 を介して天然ガス液化部 40 の天然ガス冷却装置 41 及び天然ガス液化装置 43 に供給し、冷媒を用いて冷却液化する。天然ガス液化部 40 は通常の天然ガスの液化プロセスと同様であり、本明細書での詳細説明は省略する。

【0030】

本実施の形態の天然ガス液化システムによれば、天然ガス中に二酸化炭素が高濃度で含有されているため、CO₂ 液化除去装置 31 によって二酸化炭素を液化、除去し、この除去した液体二酸化炭素を気化して温度を下げて、二酸化炭素を除去する前の天然ガスの予冷に用いることで、アミン吸収法のみによって二酸化炭素を除去する場合よりも、ガス田から産出される天然ガスから LNG を得るまでに要するエネルギーを顕著に低下させることができる。

【0031】

なお、上述した実施の形態では、CO₂ 液化除去装置で分離した液体二酸化炭素を、気液分離器 34 で分離して炭酸ガスのみを熱交換器 20 に供給したが、本発明はこのような構成に限定されるものではなく、図 2 に示すように、CO₂ 液化除去装置で分離した液体

二酸化炭素を、液体CO₂供給ライン39を介して熱交換器20に供給して、天然ガスを冷却することができる。

【0032】

このような構成によれば、気化させていないので、二酸化炭素の温度は比較的の高いものの、アミン吸収法のみによって二酸化炭素を除去する場合よりも、ガス田から産出される天然ガスからLNGを得るまでに要するエネルギーを顕著に低下させることができ、更に、熱交換器20で冷却に用いた後のCO₂排出ライン37から排出される二酸化炭素は、気体と液体の混合状態で得られるため、CCS (Carbon dioxide Capture and Storage) やEOR (Enhanced Oil Recovery) 等に利用しやすいという利点がある。

実施例

【0033】

図1の実施形態の天然ガス液化システムを用いて、ガス田から産出される天然ガスからLNGを得るまでに要するエネルギーについてシミュレーションした(実施例1)。その結果を表1～表3に示す。また、図2の実施形態の天然ガス液化システム(実施例2)の結果を表4～表6に示す。更に、比較のため、アミン吸収法のみによって二酸化炭素を除去するシステム(比較例)を図3に示し、その結果を合わせて表7～表9に示す。なお、図3には、高濃度の二酸化炭素を吸収除去するため、本実施の形態のCO₂吸収装置50よりも大規模のCO₂吸収装置52を用いた。また、天然ガス冷却装置41の前に、本実施の形態と同条件に天然ガスを予冷するために、天然ガス予冷装置45を設けた。この天然ガス予冷装置45は、天然ガス冷却装置41と同様に冷媒を圧縮、冷却して天然ガスを冷却する構成の装置である。

【0034】

表1

	ライン 11		ライン 33		ライン 32		ライン 51		ライン 44	
組成	kmol/h	mol%	kmol/h	mol%	kmol/h	mol%	kmol/h	mol%	kmol/h	mol%
CH ₄	52582	30.0	7582	6.0	45000	92.0	45000	100.0	41575	100.0
CO ₂	122691	70.0	118778	94.0	3913	8.0	0	0.0	0	0.0
合計	175273	100.0	126360	100.0	48913	100.0	45000	100.0	41575	100.0

【0035】

表2

	ライン 11	ライン 21	ライン 35	ライン 32	ライン 51	ライン 44
圧力 (kg/cm ² ・G)	64	56	0	49	49	0.4
温度 (°C)	30	0.7	-91	-73	-63	-161

【 0 0 3 6 】

表 3

	使用エネルギー(GJ/h)
CO ₂ 液化除去装置 31	172.0
CO ₂ 吸収装置 50	173.6
熱交換器 20(予冷)	N.A.
天然ガス冷却装置 41	71.1
合計	416.7

【 0 0 3 7 】

表 4

	ライン 11		ライン 39		ライン 32		ライン 51		ライン 44	
組成	kmol/h	mol%	kmol/h	mol%	kmol/h	mol%	kmol/h	mol%	kmol/h	mol%
CH ₄	52582	30.0	7582	6.0	45000	92.0	45000	100.0	41575	100.0
CO ₂	122691	70.0	118778	94.0	3913	8.0	0	0.0	0	0.0
合計	175273	100.0	126360	100.0	48913	100.0	45000	100.0	41575	100.0

【 0 0 3 8 】

表 5

	ライン 11	ライン 21	ライン 39	ライン 32	ライン 51	ライン 44
圧力 (kg/cm ² ・G)	64	56	50	49	49	0.4
温度 (°C)	30	0.7	0.7	-73	-63	-161

【 0 0 3 9 】

表 6

	使用エネルギー(GJ/h)
CO ₂ 液化除去装置 31	813.0
CO ₂ 吸収装置 50	173.6
熱交換器 20(予冷)	N.A.
天然ガス冷却装置 41	71.1
合計	1,057.7

【 0 0 4 0 】

表 7

	ライン 12		ライン 46		ライン 44	
組成	kmol/h	mol%	kmol/h	mol%	kmol/h	mol%
CH ₄	52582	30.0	45000	100.0	41575	100.0
CO ₂	122691	70.0	0	0.0	0	0.0
合計	175273	100.0	45000	100.0	41575	100.0

【 0 0 4 1 】

表 8

	ライン 12	ライン 46	ライン 44
圧力 (kg/cm ² ・G)	64	56	0.4
温度 (°C)	30	-52	-161

【 0 0 4 2 】

表 9

	使用エネルギー(GJ/h)
CO ₂ 吸収装置 52	1,328.9
天然ガス予冷装置 45	47.7
天然ガス冷却装置 41	71.1
合計	1,447.7

【 0 0 4 3 】

表 1 には、天然ガス供給ライン 1 1、3 2、5 1、CO₂回収ライン 3 3、LNG 供給ライン 4 4 の各ラインにおけるガス又は液体の組成を示す。表 2 には、各ラインにおけるガス又は液体の圧力および温度を示す。また、表 3 には、CO₂液化除去装置 3 1、CO₂吸収装置 5 0、熱交換器 2 0、天然ガス冷却装置 4 1 でそれぞれ消費するエネルギーを示す。表 4、表 7 は表 1 に準じた組成を示し、表 5、表 8 は表 2 と同様に圧力および温度を示し、表 6、表 9 は表 3 に準じた消費エネルギーを示す。なお、実施例 1、2 では、天然ガスから二酸化炭素を液化、除去する際に、主成分であるメタンガスも一部除かれてしまうことから、最終的に得られる LNG が同量になるようにシミュレーションした。

【 0 0 4 4 】

表 7～表 9 に示すように、比較例では、ガス田で産出される天然ガスが二酸化炭素を 70% と非常に多く含有していた場合（ライン 1 2）、CO₂吸収装置によって二酸化炭素を 0% まで除去させると（ライン 4 6）、約 1 3 0 0 G J / h ものエネルギーを要した。一方、実施例 1、2 では、表 1、表 4 に示すように、同様に二酸化炭素の含有量が 70% と高い場合であっても（ライン 1 1）、CO₂液化除去装置によって先ず 8% まで低下させることができ（ライン 3 2）、CO₂吸収装置によって更に 0% まで除去させても（ライン 5 1）、表 3、表 6 に示すように、両方の装置を合計しても約 3 0 0 G J / h のエネルギーでよい。

【0045】

また、表7～表9に示すように、比較例では、LNGを得るために天然ガスを予冷、本例と2段階で冷却するために、合計で約120GJ/hのエネルギーを要する。一方、実施例1、2では、天然ガスから除去した二酸化炭素を、天然ガスを予冷に使用して冷熱回収することができるので、表3、表6に示すように、冷却に要するエネルギーを比較例に比べて低下させることができる。

符号の説明

【0046】

- 1 天然ガス液化システム
- 10 ガス田
- 20 熱交換器
- 30 CO₂除去部
- 31 CO₂液化除去装置
- 34 気液分離器
- 40 天然ガス液化部
- 41 天然ガス冷却装置
- 43 天然ガス液化装置
- 50 CO₂吸収装置

特許請求の範囲

【請求項 1】

二酸化炭素を含有する天然ガスから、二酸化炭素を液体として除去する気液分離装置と、
前記除去した二酸化炭素によって、前記二酸化炭素を含有する天然ガスを予冷する予冷装置と、

前記二酸化炭素を除去した天然ガスを、冷却して液化天然ガス（LNG）を得る天然ガス液化装置と

を備える天然ガス液化システム。

【請求項 2】

前記気液分離装置からの前記除去した二酸化炭素を、気化して前記予冷装置に供給する気化手段を更に備える請求項 1 に記載の天然ガス液化システム。

【請求項 3】

前記予冷装置が、前記除去した二酸化炭素を液体のまま、前記予冷に使用する請求項 1 に記載の天然ガス液化システム。

【請求項 4】

前記気液分離装置で二酸化炭素を除去した後の天然ガスに、更に二酸化炭素吸収液を接触させて、天然ガスから更に二酸化炭素を除去する二酸化炭素吸収除去装置を更に備える請求項 1 ～ 3 のいずれか一項に記載の天然ガス液化システム。

【請求項 5】

二酸化炭素を含有する天然ガスから、二酸化炭素を液体として除去するステップと、
前記除去した二酸化炭素によって、前記二酸化炭素を含有する天然ガスを予冷するステップと、

前記二酸化炭素を除去した天然ガスを、冷却して液化天然ガス（LNG）を得るステップと

を含む液化天然ガスの製造方法。

【請求項 6】

前記除去した二酸化炭素を、気化して又は液体のまま、前記予冷に使用する請求項 5 に記載の液化天然ガスの製造方法。

【請求項 7】

前記二酸化炭素を液体として除去するステップの後に、更に二酸化炭素吸収液を接触させて、天然ガスから更に二酸化炭素を除去するステップを更に備える請求項 5 又は 6 に記載の液化天然ガスの製造方法。