

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公開特許公報(A)

(11) 特許出願公開番号

特開2019-190819

(P2019-190819A)

(43) 公開日 令和1年10月31日(2019.10.31)

(51) Int.Cl. F 1 1/00 (2006.01) F 2 5 J 1/00 B テーマコード(参考) 4 D 0 4 7

審査請求 有 請求項の数 18 O L 外国語出願 (全 30 頁)

(21) 出願番号 特願2019-80691 (P2019-80691)
 (22) 出願日 平成31年4月22日 (2019. 4. 22)
 (31) 優先権主張番号 15/964, 377
 (32) 優先日 平成30年4月27日 (2018. 4. 27)
 (33) 優先権主張国・地域又は機関 米国 (US)

(71) 出願人 591035368
 エア プロダクツ アンド ケミカルズ
 インコーポレイテッド
 AIR PRODUCTS AND CH
 EMICALS INCORPORATE
 D
 アメリカ合衆国 ペンシルヴェニア アレ
 ンタウン ハミルトン ブールヴァード
 7201
 7201 Hamilton Boule
 vard, Allentown, Pe
 nnsylvania 18195-15
 01, USA
 (74) 代理人 100099759
 弁理士 青木 篤

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 気相冷媒を使用して炭化水素流を冷却するための改善された方法およびシステム

(57) 【要約】

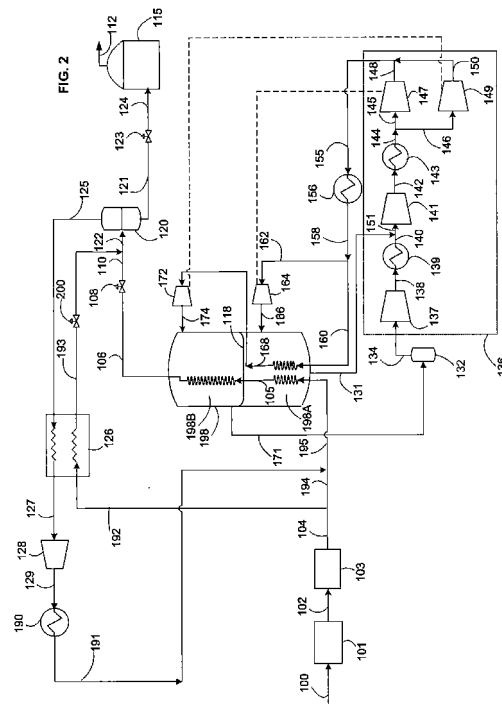
【課題】

メタンを含む冷媒を使用する、天然ガス供給流の液化のための方法およびシステムが本明細書に開示される。

【解決手段】

方法およびシステムは、2つ以上のターボエキパンダを利用して、2つ以上の気体冷媒流を異なる圧力に下げて膨張させ、天然ガスを予冷および液化するための冷凍作用を提供するために使用される異なる圧力の少なくとも主に気体冷媒の冷流を提供する、冷凍回路およびサイクルを使用する。結果として得られる、液化された天然ガス流は、次いで、フラッシングされて、LNG製品およびフラッシュガスを生成し、フラッシュガスは、天然ガス供給流に再循環される。

【選択図】 図2



【特許請求の範囲】

【請求項 1】

天然ガス供給流を液化して LNG 製品を生成する方法であって、前記方法は、

(a) 第 1 の天然ガス供給流を予冷および液化するように、複数の熱交換区分のいくつかまたはすべての温側に前記第 1 の天然ガス供給流を通過させ、かつ複数の熱交換区分のいくつかまたはすべての前記温側において前記第 1 の天然ガス供給流を冷却することであって、前記複数の熱交換区分が、天然ガス流が予冷される第 1 の熱交換区分と、前記第 1 の熱交換区分からの前記予冷された天然ガス流が液化されて、第 1 の液化天然ガス流を形成する第 2 の熱交換区分と、を備える、冷却することと、

(b) 前記第 2 の熱交換区分から取り出された前記第 1 の液化天然ガス流をフラッシングして、フラッシュガスおよび LNG 製品を形成し、フラッシュガス流および LNG 製品流を形成するために前記 LNG 製品から前記フラッシュガスを分離することと、

(c) 前記フラッシュガス流を圧縮し、前記圧縮されたフラッシュガスを前記第 1 の天然ガス供給流内に再循環させることと、

(d) メタンを含む冷媒を、前記複数の熱交換区分と、複数の圧縮機および / または圧縮段ならびに 1 つ以上のインタークーラーおよび / または後段クーラーを備える圧縮トレインと、第 1 のターボエキスパンダおよび第 2 のターボエキスパンダと、を備える冷凍回路において循環させることと、を含み、前記冷媒の循環が、前記複数の熱交換区分の各々に冷凍作用を提供し、それによって前記第 1 の天然ガス供給流を予冷および液化するための冷却作用を提供し、前記冷凍回路において前記冷媒を循環させることが、

(i) 前記圧縮され冷却された気体冷媒流を分けて第 1 の冷却された気体冷媒流と、第 2 の冷却された気体冷媒流とを形成するステップと、

(i i) 前記第 1 のターボエキスパンダにおいて前記第 1 の冷却された気体冷媒流を第 1 の圧力に下げて膨張させて、前記第 1 のターボエキスパンダを出るときに液体を含まない、または液体を実質的に含まない、気体流または主に気体流である第 1 の膨張した冷たい冷媒流を、第 1 の温度および前記第 1 の圧力で形成するステップと、

(i i i) 前記複数の熱交換区分のうちの少なくとも 1 つの前記温側に前記第 2 の冷却された気体冷媒流を通過させ、かつ前記複数の熱交換区分のうちの少なくとも 1 つの前記温側において前記第 2 の冷却された気体冷媒流を冷却して、前記第 2 の冷却された気体冷媒流をさらに冷却するステップと、

(i v) 前記第 2 のターボエキスパンダにおいて前記さらに冷却された第 2 の冷却された気体冷媒流を第 2 の圧力に下げて膨張させて、第 2 の膨張した冷たい冷媒流を第 2 の温度および前記第 2 の圧力で形成するステップであって、前記第 2 の膨張した冷たい冷媒流が、前記第 2 のターボエキスパンダを出るときに、液体を含まない、または液体を実質的に含まない、気体流または主に気体流であり、前記第 2 の圧力が、前記第 1 の圧力より低く、前記第 2 の温度が、前記第 1 の温度より低い、ステップと、

(v) 少なくとも前記第 1 の熱交換区分、および / または前記第 2 の冷たい気体冷媒流のすべてまたは一部が冷却される熱交換区分を備える、前記複数の熱交換区分のうちの少なくとも 1 つの前記冷側に前記第 1 の膨張した冷たい冷媒流を通過させ、かつ前記複数の熱交換区分のうちの少なくとも 1 つの前記冷側において前記第 1 の膨張した冷たい冷媒流を温めて、少なくとも前記第 2 の熱交換区分を備える、前記複数の熱交換区分のうちの少なくとも 1 つの前記冷側に前記第 2 の膨張した冷たい冷媒流を通過させ、かつ前記複数の熱交換区分のうちの少なくとも 1 つの前記冷側において前記第 2 の膨張した冷たい冷媒流を温めるステップであって、前記第 1 および第 2 の膨張した冷たい冷媒流が、分離されたままにされ、前記複数の熱交換区分のうちのいずれの前記冷側においても混合されず、前記第 1 の膨張した冷たい冷媒流が、温められて、第 1 の温められた気体冷媒流を形成し、前記第 2 の膨張した冷たい冷媒流が、温められて、第 2 の温められた気体冷媒流を形成する、ステップと、

(v i) 前記第 1 の温められた気体冷媒流および前記第 2 の温められた気体冷媒流を前記圧縮トレイン内へ導入し、それによって、前記第 2 の温められた気体冷媒流が、前記圧縮

10

20

30

40

50

トレインの前記第 1 の温められた気体冷媒流とは異なる、より低い圧力位置で圧縮トレイン内に導入され、前記第 1 の温められた気体冷媒流と前記第 2 の温められた気体冷媒流とを圧縮し、冷却し、合わせて、ステップ (i) で分けられる前記圧縮され冷却された気体冷媒流を形成するステップと、を含む、方法。

【請求項 2】

前記冷媒は、少なくとも 85 モル % のメタンを含む、請求項 1 に記載の方法。

【請求項 3】

前記第 1 の膨張した冷たい冷媒流は、前記第 1 のターボエキスパンダを出るときに 0.8 以上の蒸気率を有し、前記第 2 の膨張した冷たい冷媒流は、前記第 2 のターボエキスパンダを出るときに 0.8 以上の蒸気率を有する、請求項 1 に記載の方法。

10

【請求項 4】

前記第 1 の圧力と前記第 2 の圧力との圧力の割合は、1.5 : 1 ~ 2.5 : 1 である、請求項 1 に記載の方法。

【請求項 5】

前記第 1 の液化された天然ガス流は、-100 ~ -145 の温度で前記第 2 の熱交換器から取り出される、請求項 1 に記載の方法。

【請求項 6】

前記第 1 の液化された天然ガス流は、-110 ~ -145 の温度で前記第 2 の熱交換器から取り出される、請求項 1 に記載の方法。

【請求項 7】

前記冷凍回路は、閉ループ冷凍回路である、請求項 1 に記載の方法。

20

【請求項 8】

前記方法は、前記フラッシュガス流を通過させ、かつ前記フラッシュガス流をフラッシュガス熱交換区分の前記冷側において温めることによって、前記フラッシュガス流を圧縮する前に前記フラッシュガス流から冷気を回収し、前記圧縮されたフラッシュガスを再循環させることをさらに含む、請求項 1 に記載の方法。

【請求項 9】

前記フラッシュガス熱交換区分は、前記冷媒の循環による冷凍作用を提供される前記冷凍回路の前記複数の熱交換区分のうちの 1 つではない、請求項 8 に記載の方法。

【請求項 10】

前記方法は、

(e) 前記フラッシュガス熱交換区分の前記温側において第 2 の天然ガス供給流を通過させ、前記第 2 の天然ガス流を冷却および液化して、第 2 の液化された天然ガス流を形成することと、

(f) 前記フラッシュガス熱交換区分から取り出された前記第 2 の液化された天然ガス流をフラッシングして、追加のフラッシュガスおよび追加の LNG 製品を形成し、前記追加の LNG 製品から前記追加のフラッシュガスを分離して、前記フラッシュガス流のための追加のフラッシュガスおよび前記 LNG 製品流のための追加の LNG 製品を提供することと、をさらに含む、請求項 8 に記載の方法。

30

【請求項 11】

ステップ (b) および (f) における前記 LNG 製品および追加の LNG 製品からの前記フラッシュガスおよび追加のフラッシュガスの前記分離は、前記フラッシングされた第 1 の液化された天然ガス流およびフラッシングされた第 2 の液化された天然ガス流を、前記流れが蒸気塔頂留出物および液体塔底液に共に分離される気液分離装置内に導入することによって起こり、前記蒸気塔頂留出物を取り出されて、前記フラッシュガス流を形成し、前記液体塔底液が取り出されて、前記 LNG 製品流を形成する、請求項 10 に記載の方法。

40

【請求項 12】

前記第 2 の熱交換区分は、管側と外殻側とを有する管束を備えるコイル巻き熱交換区分である、請求項 1 に記載の方法。

50

【請求項 1 3】

前記第 1 の熱交換区分は、前記熱交換区分を通る複数の分離した通路を画定する冷側を有し、前記第 1 の膨張した冷たい冷媒流は、前記第 1 の熱交換区分を通る前記通路のうちの少なくとも 1 つを通過し、前記通路のうちの少なくとも 1 つにおいて温められて、前記第 1 の温められた気体冷媒流を形成し、前記第 2 の膨張した冷たい冷媒流は、前記第 2 の熱交換区分の前記冷側を通過し、前記第 2 の熱交換区分の前記冷側において温められ、次いで、前記第 1 の熱交換区分を通る前記通路のうちの他の少なくとも 1 つ以上を通過し、前記通路のうちの他の少なくとも 1 つ以上においてさらに温められて、前記第 2 の温められた気体冷媒流を形成する、請求項 1 に記載の方法。

【請求項 1 4】

前記第 1 の熱交換区分は、管側と外殻側とを有する管束を備えるコイル巻き熱交換区分であり、前記複数の熱交換区分は、天然ガス流が予冷される、および / または前記第 2 の冷却された気体冷媒流のすべてまたは一部が冷却される、第 3 の熱交換区分をさらに備え、前記第 1 の膨張した冷たい冷媒流は、前記第 1 および第 3 の熱交換区分のうちの一方の前記冷側を通過し、前記第 1 および第 3 の熱交換区分のうちの一方の前記冷側において温められて、前記第 1 の温められた気体冷媒流を形成し、前記第 2 の膨張した冷たい冷媒流は、前記第 2 の熱交換区分の前記冷側を通過し、前記第 2 の熱交換区分の前記冷側において温められて、次いで、前記第 3 および第 1 の熱交換区分のうちの他方の前記冷側を通過し、前記第 3 および第 1 の熱交換区分のうちの他方の前記冷側においてさらに温められて前記第 2 の温められた気体冷媒流を形成する、請求項 1 に記載の方法。

【請求項 1 5】

天然ガス供給流を液化して LNG 製品を生成するシステムであって、前記システムは、(a) 複数の熱交換区分の各々に冷凍作用を提供し、それによって第 1 の天然ガス供給流を予冷および液化するための冷却作用を提供する冷媒の循環のための冷凍回路であって、前記冷凍回路が、

前記複数の熱交換区分であって、前記熱交換区分の各々が、温側と、冷側とを有し、前記複数の熱交換区分が、第 1 の熱交換区分と、第 2 の熱交換区分と、を備え、前記第 1 の熱交換器の前記温側が、天然ガス流を受け、かつ予冷するための前記第 1 の熱交換器の前記温側を通る少なくとも 1 つの通路を画定し、前記第 2 の熱交換区分の前記温側が、前記第 1 の熱交換区分からの予冷された天然ガス流を受け、かつ液化して、第 1 の液化された天然ガス流を形成するための、前記第 2 の熱交換区分の前記温側を通る少なくとも 1 つの通路を画定し、前記複数の熱交換区分の各々の前記冷側が、前記循環する冷媒の膨張流を受け、かつ温めるための前記複数の熱交換区分の各々の前記冷側を通る少なくとも 1 つの通路を画定する、複数の熱交換区分と、

前記循環する冷媒を圧縮し、かつ冷却するための複数の圧縮機および / または圧縮ステージならびに 1 つ以上のインタークーラーおよび / または後段クーラーを備える圧縮トレインであって、前記冷凍回路は、前記圧縮トレインは、前記複数の熱交換区分から第 1 の温められた気体冷媒流および第 2 の温められた気体冷媒流を受けよう構成され、前記第 2 の温められた気体冷媒流は、前記圧縮トレインの、前記第 1 の温められた気体冷媒流とは異なる、より低い圧力位置で受けられ、前記圧力位置に導入され、前記圧縮トレインは、前記第 1 の温められた気体冷媒流および前記第 2 の温められた気体冷媒流を圧縮し、冷却し、合わせて、圧縮され冷却された前記冷媒の気体流を形成するように構成されている、圧縮トレインと、

第 1 の冷却された気体冷媒流を受け、かつ第 1 の圧力に下げて膨張させて、第 1 の温度および前記第 1 の圧力で第 1 の膨張した冷たい冷媒流を形成するように構成された第 1 のターボエキスパンダと、

さらに冷却された第 2 の冷却された気体冷媒流を受け、かつ第 2 の圧力に下げて膨張させて、第 2 の温度および前記第 2 の圧力で第 2 の膨張した冷たい冷媒流を形成するように構成され、前記第 2 の圧力が、前記第 1 の圧力よりも低く、前記第 2 の温度が、前記第 1 の温度よりも低い、第 2 のターボエキスパンダと、を備え、

10

20

30

40

50

前記冷凍回路が、

前記圧縮トレインからの、前記冷媒の前記圧縮され、冷却された気体流を分けて前記第 1 の冷却された気体冷媒流および第 2 の冷却された気体冷媒流を形成し、

前記複数の熱交換区分のうち少なくとも 1 つの前記温側に前記第 2 の冷却された気体冷媒流を通過させ、かつ前記複数の熱交換区分のうち少なくとも 1 つの前記温側において前記第 2 の冷却された気体冷媒流を冷却して、さらに冷却された前記第 2 の冷却された気体冷媒流を形成し、

少なくとも前記第 1 の熱交換区分、および / または前記第 2 の冷たい気体冷媒流のすべてまたは一部が冷却される熱交換区分を備える、前記複数の熱交換区分のうち少なくとも 1 つの前記冷側に前記第 1 の膨張した冷たい冷媒流を通過させ、かつ前記複数の熱交換区分のうち少なくとも 1 つの前記冷側において前記第 1 の膨張した冷たい冷媒流を温めて、少なくとも前記第 2 の熱交換区分を備える前記複数の熱交換区分のうち少なくとも 1 つの前記冷側に前記第 2 の膨張した冷たい冷媒流を通過させ、かつ前記複数の熱交換区分のうち少なくとも 1 つの前記冷側において前記第 2 の膨張した冷たい冷媒流を温めるステップであって、前記第 1 および第 2 の膨張した冷たい冷媒流が、分離されたままにされ、前記複数の熱交換区分のうちのいずれの前記冷側においても混合されず、前記第 1 の膨張した冷たい冷媒流が、温められて、前記第 1 の温められた気体冷媒流を形成し、前記第 2 の膨張した冷たい冷媒流が、温められて、前記第 2 の温められた気体冷媒流を形成するように構成されている、冷凍回路と、

(b) 前記第 1 の液化された天然ガス流を前記複数の熱交換区分のうちの前記第 2 の熱交換区分から受け、かつ前記第 1 の液化された天然ガス流をフラッシングして、フラッシュガスおよび LNG 製品を形成するように構成された、圧力低下装置と、

(c) 前記フラッシュガスを前記 LNG 製品から分離して、フラッシュガス流および LNG 製品流を形成するように構成された、気液分離装置と、

(d) 前記フラッシュガス流を受け、かつ圧縮し、前記圧縮されたフラッシュガスを前記第 1 の天然ガス供給流内に再循環させるためのフラッシュガス圧縮機と、を備える、システム。

【請求項 16】

前記システムは、

(e) 前記フラッシュガス流が前記フラッシュガス圧縮機によって受けられ、かつ圧縮される前に、冷気を前記フラッシュガス流から回収するためのフラッシュガス熱交換区分をさらに備え、前記フラッシュガス熱交換区分が、温側および冷側を有し、前記冷側が、前記フラッシュガス流を受けて温めるための前記冷側を通る 1 つ以上の通路を画定している、請求項 15 に記載のシステム。

【請求項 17】

前記フラッシュガス熱交換区分の前記温側は、第 2 の天然ガス供給流を受け、冷却し、かつ液化して、第 2 の液化された天然ガス流を形成するための前記温側を通る 1 つ以上の通路を画定している、請求項 16 に記載のシステム。

【請求項 18】

前記システムは、

(e) 前記第 2 の液化された天然ガス流を前記フラッシュガス熱交換区分から受け、かつ前記第 2 の液化された天然ガス流をフラッシングして、追加のフラッシュガスおよび追加の LNG 製品を形成するように構成された、圧力低下装置をさらに備え、前記気液分離装置は、前記追加のフラッシュガスも前記追加の LNG 製品から分離して、前記フラッシュガス流のための追加のフラッシュガス、および前記 LNG 製品流のための追加の LNG 製品を提供するように構成されている、請求項 17 に記載のシステム。

【発明の詳細な説明】

【背景技術】

【0001】

本発明は、天然ガス供給流を液化して液化天然ガス (LNG) 製品を生成するための方

10

20

30

40

50

法およびシステムに関する。

【0002】

天然ガスの液化は重要な産業工程である。LNGの全世界での生産力は300MTPAを超え、天然ガスを液化するための様々な冷凍サイクルの開発が成功しており、当技術で知られており、広く使用されている。

【0003】

いくつかのサイクルは気化する冷媒を利用して、天然ガスを液化するための冷却作用を提供する。これらのサイクルでは、最初に気相である温かい冷媒（例えば、純粋な単一成分の冷媒、または混合冷媒であってもよい）が圧縮され、冷却され、液化されて、液体冷媒を提供する。この液体冷媒は、次に膨張させられて、冷媒と天然ガスとの間の間接的な熱交換を介して天然ガスを液化するために使用される冷たい気化する冷媒を生成する。結果として得られる、温められて気化された冷媒は、次に圧縮されて、サイクルを再び開始することができる。当技術において知られており、かつ使用されているこの種類の例示のサイクルは、単一混合冷媒（SMR）サイクル、カスケードサイクル、デュアル混合冷媒（DMR）サイクル、プロパン予冷混合冷媒（C3MR）サイクルを含む。

10

【0004】

他のサイクルは気相膨張サイクルを利用して、天然ガスを液化するための冷却作用を提供する。これらのサイクルでは、気相冷媒はサイクル中に相が変化しない。気相の温かい冷媒は、圧縮および冷却されて、圧縮された冷媒を形成する。圧縮された冷媒は、次に膨張させられて、さらに冷媒を冷却し、冷媒と天然ガスとの間の間接的な熱交換を介して天然ガスを液化するために次に使用される膨張した冷たい冷媒をもたらす。結果として得られる、温められて膨張した冷媒は、次に圧縮されて、サイクルを再び開始することができる。当技術で知られており、使用されているこの種類の例示のサイクルは、窒素膨張サイクルおよびメタン膨張サイクルなどの逆ブレイトンサイクルである。

20

【0005】

確立された窒素膨張サイクル、カスケード、SMRおよびC3MRプロセス、ならびに天然ガスを液化することにおけるそれらの使用のさらなる記述は、例えば、“Selecting a suitable process” J. C. Bronfenbrenner, M. Pillarella, and J. Solomon, Review the process technology options available for the liquefaction of natural gas, summer 09, LNGINDUSTRY.COMで見られる。

30

【0006】

LNG産業の現在の傾向は、遠隔の海底ガス田を開発することであり、これは、浮体式LNG（FLNG）の適用としても知られる適用などの浮体式プラットフォーム上に構築される天然ガスを液化するためのシステムを必要とする。しかしながら、浮体式プラットフォーム上のこのようなLNGプラントの設計および操業は、克服される必要のある多数の課題をもたらす。浮体式プラットフォーム上の動きが主な課題の1つである。混合冷媒（MR）を使用する従来の液化プロセスは、冷凍サイクルの特定の時点で液相および気相の二相の流れおよび分離を含み、これは浮体式プラットフォーム上で使用される場合、液相 - 気相不均衡配分により、性能の低下につながり得る。また、液化された冷媒を使用する冷凍サイクルのいずれかにおいて、液体スロッシングは追加の機械的ストレスを引き起こし得る。可燃性成分の在庫の貯蔵は、安全性の考慮のため、冷凍サイクルを使用する多くのLNGプラントに関する別の懸念である。

40

【0007】

当産業における別の傾向は、ピークシェーピング設備、または多数のより低能力の液化トレインが単一の高能力のトレインの代わりに使用されるモジュール化された液化設備の場合などの、より小さな規模の液化設備の開発である。より低能力で高いプロセス効率を有する液化サイクルを開発することが望ましい。

【0008】

50

その結果、最小限の二相の流れを含み、最小限の可燃性冷媒在庫を必要とし、高いプロセス効率を有する天然ガスを液化するためのプロセスの開発への必要性が増加している。

【0009】

窒素再循環膨張プロセスは、上述のように、気体窒素を冷媒として使用する既知のプロセスである。このプロセスは混合冷媒の使用をなくし、そのため、最小限の炭化水素在庫を必要とするFLNG設備および地上ベースのLNG設備の魅力的な代替を提示する。しかしながら、窒素循環膨張プロセスは、比較的低い効率を有し、より大きな熱交換器、圧縮機、エキスパンダ、および管寸法を有する。また、本プロセスは、比較的大量の純窒素の利用可能性に依存する。

【0010】

米国特許第8,656,733号明細書および米国特許第8,464,551号明細書は、例えば気体窒素を冷媒として使用する閉ループ気体膨張サイクルは、例えば天然ガス供給流などの供給流を液化し、かつサブクーリングする、液化方法およびシステムを教示する。説明された冷凍回路およびサイクルは、複数のターボエキスパンダを利用して、天然ガスを液化するために使用される冷媒流よりも低い圧力および温度まで下げられる天然ガスをサブクーリングする冷媒流を有する複数の膨張した冷たい気体冷媒流を生成する。

【0011】

米国特許出願公開第2016/054053号明細書および米国特許第7,581,411号明細書は、窒素などの冷媒が膨張されて、複数の冷媒流を比較可能な圧力で生成する、天然ガス流を液化するプロセスおよびシステムを教示する。天然ガスを予冷し、かつ液化するために使用される冷媒流は、ターボエキスパンダにおいて膨張された気体流であり、一方で、天然ガスをサブクーリングするために使用される冷媒流は、J-T弁を介して膨張される前に少なくとも部分的に液化される。すべての冷媒流は同じ、またはおよそ同じ圧力まで下げられ、様々な熱交換区分を通過するときに混合され、様々な熱交換区分において温められて、再圧縮のために共有圧縮機内に導入される単一の温流を形成する。

【0012】

米国特許第9,163,873号明細書は、窒素などの気体冷媒を膨張させて複数の冷たい膨張された気体冷媒流を異なる圧力および温度で生成するために複数のターボエキスパンダが使用される、天然ガス流を液化するためのプロセスおよびシステムを教示する。米国特許第8,656,733号明細書および米国特許第8,464,551号明細書におけるように、最も低い圧力および温度の流れが天然ガスをサブクーリングするために使用される。

【0013】

米国特許出願公開第2016/0313057号明細書は、FLNGの適用に特に適正を有する天然ガス供給流を液化するための方法およびシステムを教示する。説明された方法およびシステムにおいて、気体メタンまたは天然ガス冷媒は複数のターボエキスパンダにおいて膨張されて、天然ガス供給流を予冷し、かつ液化するために使用される冷たい膨張した気体冷媒流を提供する。すべての冷媒流は同じ、またはおよそ同じ圧力まで下げられ、様々な熱交換区分を通過するときに混合され、様々な熱交換区分において温められて、再圧縮のために共有圧縮機内に導入される単一の温流を形成する。液化天然ガス供給流は様々なフラッシュ段の対象とされ、LNG製品を得るために天然ガスをさらに冷却する。

【0014】

それにもかかわらず、FLNGの適用、ピークシェーピング設備、および二相の冷媒流および二相の冷媒の分離が好ましくなく、可燃性冷媒の大量の在庫の管理が問題であり得、大量の純窒素または他の必要とされる冷媒成分が利用不可能であり得、または得ることが困難であり得、および/またはプラントの利用可能な面積によって、冷凍回路において使用されることができると熱交換器、圧縮機、エキスパンダ、および管の寸法が制限される他の状況における使用に好適な高いプロセス効率を有する冷凍サイクルを活用する天然ガスを液化するための方法およびシステムに対する当技術における必要性が残っている。

【発明の概要】

【課題を解決するための手段】

10

20

30

40

50

【 0 0 1 5 】

天然ガス供給流を液化してLNG製品を生成するための方法およびシステムが本明細書で開示される。本方法およびシステムは、メタンを含む冷媒を循環させる冷凍回路を使用する。冷凍回路は、第1および第2のターボエキスパンダを含み、これらは、冷媒の気体流を異なる圧力に下げて膨張させて、異なる圧力の膨張した冷たい気体流または少なくとも主に気体の冷媒を提供するために使用され、次いで、天然ガスを予冷および液化するための冷凍作用を提供するために使用され、ガスを液化するために使用される冷媒流は、天然ガスを予冷するために使用される冷媒流よりも低い圧力である。結果として得られる、液化された天然ガス流は、次いで、フラッシングされて、フラッシュガス流およびLNG製品を形成し、フラッシュガス流は、天然ガス供給流内に再循環されている。かかる方法およびシステムは、現場で利用可能な冷媒(メタン)を使用し、冷媒またはその大半が冷媒サイクルを通して気体形態のままである、より高いプロセス効率を有する冷凍サイクルを活用するLNG製品の製造を提供する。

10

【 0 0 1 6 】

本発明による本システムおよび方法のいくつかの好ましい態様の概要が下記に述べられる。

【 0 0 1 7 】

態様1：天然ガス供給流を液化してLNG製品を生成する方法であって、方法は、

(a) 第1の天然ガス供給流を予冷および液化するように、複数の熱交換区分のいくつかまたはすべての温側に第1の天然ガス供給流を通過させ、かつ複数の熱交換区分のいくつかまたはすべての温側において天然ガス供給流を冷却することであって、複数の熱交換区分が、天然ガス流が予冷される第1の熱交換区分と、第1の熱交換区分からの予冷された天然ガス流が液化されて、第1の液化天然ガス流を形成する第2の熱交換区分と、を備える、冷却することと、

20

(b) 第2の熱交換区分から取り出された第1の液化天然ガス流をフラッシングして、フラッシュガスおよびLNG製品を形成し、フラッシュガス流およびLNG製品流を形成するためにLNG製品からフラッシュガスを分離することと、

(c) フラッシュガス流を圧縮し、圧縮されたフラッシュガスを第1の天然ガス供給流内に再循環させることと、

(d) メタンを含む冷媒を、複数の熱交換区分と、複数の圧縮機および/または圧縮段ならびに1つ以上のインタークーラーおよび/または後段クーラーを備える圧縮トレインと、第1のターボエキスパンダおよび第2のターボエキスパンダと、を備える冷凍回路において循環させることと、を含み、冷媒の循環が、複数の熱交換区分の各々に冷凍作用を提供し、それによって第1の天然ガス供給流を予冷および液化するための冷却作用を提供し、冷凍回路において冷媒を循環させることが、

30

(i) 圧縮され冷却された気体冷媒流を分けて第1の冷却された気体冷媒流と、第2の冷却された気体冷媒流とを形成するステップと、

(ii) 第1のターボエキスパンダにおいて第1の冷却された気体冷媒流を第1の圧力に下げて膨張させて、第1のターボエキスパンダを出るときに液体を含まない、または液体を実質的に含まない、気体流または主に気体流である第1の膨張した冷たい冷媒流を、第1の温度および第1の圧力で形成するステップと、

40

(iii) 複数の熱交換区分のうち少なくとも1つの温側に第2の冷却された気体冷媒流を通過させ、複数の熱交換区分のうち少なくとも1つの温側において第2の冷却された気体冷媒流を冷却して、第2の冷却された気体冷媒流をさらに冷却するステップと、

(iv) 第2のターボエキスパンダにおいてさらに冷却された第2の冷却された気体冷媒流を第2の圧力に下げて膨張させて、第2の膨張した冷たい冷媒流を第2の温度および第2の圧力で形成するステップであって、第2の膨張した冷たい冷媒流が、第2のターボエキスパンダを出るときに、液体を含まない、または液体を実質的に含まない、気体流または主に気体流であり、第2の圧力が、第1の圧力より低く、第2の温度が、第1の温度より低い、ステップと、

50

(v) 少なくとも第1の熱交換区分、および/または第2の冷たい気体冷媒流のすべてまたは一部が冷却される熱交換区分を備える、複数の熱交換区分のうちの少なくとも1つの冷側に第1の膨張した冷たい冷媒流を通過させ、かつ複数の熱交換区分のうちの少なくとも1つの冷側において第1の膨張した冷たい冷媒流を温めて、少なくとも第2の熱交換区分を備える複数の熱交換区分のうちの少なくとも1つの冷側に第2の膨張した冷たい冷媒流を通過させ、かつ複数の熱交換区分のうちの少なくとも1つの冷側において第2の膨張した冷たい冷媒流を温めるステップであって、第1および第2の膨張した冷たい冷媒流が、分離されたままにされ、複数の熱交換区分のうちのいずれの冷側においても混合されず、第1の膨張した冷たい冷媒流が、温められて、第1の温められた気体冷媒流を形成し、第2の膨張した冷たい冷媒流が、温められて、第2の温められた気体冷媒流を形成する、

10

ステップと、
(vi) 第1の温められた気体冷媒流および第2の温められた気体冷媒流を圧縮トレイン内へ導入し、それによって、第2の温められた気体冷媒流が、圧縮トレインの第1の温められた気体冷媒流とは異なる、より低い圧力位置で圧縮トレイン内に導入され、第1の温められた気体冷媒流と第2の温められた気体冷媒流とを圧縮し、冷却し、合わせて、ステップ(i)で分けられる圧縮され冷却された気体冷媒流を形成するステップと、を含む、方法。

【0018】

態様2：冷媒は、少なくとも85モル%のメタンを含む、態様1に記載の方法。

【0019】

態様3：第1の膨張した冷たい冷媒流は、第1のターボエキスパンダを出るときに0.8以上の蒸気率を有し、第2の膨張した冷たい冷媒流は、第2のターボエキスパンダを出るときに0.8以上の蒸気率を有する、態様1または2に記載の方法。

20

【0020】

態様4：第1の圧力と第2の圧力との圧力の割合は、1.5：1～2.5：1である、態様1～3のいずれか1つに記載の方法。

【0021】

態様5：第1の液化された天然ガス流は、-100～-145の温度で第2の熱交換器から取り出される、態様1～4のいずれか1つに記載の方法。

【0022】

態様6：第1の液化された天然ガス流は、-110～-145の温度で第2の熱交換器から取り出される、態様1～4のいずれか1つに記載の方法。

30

【0023】

態様7：冷凍回路は、閉ループ冷凍回路である、態様1～6のいずれか1つに記載の方法。

【0024】

態様8：方法は、フラッシュガス流を通過させ、かつフラッシュガス流をフラッシュガス熱交換区分の冷側において温めることによって、フラッシュガス流を圧縮する前にフラッシュガス流から冷気を回収し、圧縮されたフラッシュガスを再循環させることをさらに含む、態様1～7のいずれか1つに記載の方法。

40

【0025】

態様9：フラッシュガス熱交換区分は、冷媒の循環による冷凍作用を提供される冷凍回路の複数の熱交換区分のうちの1つではない、態様8に記載の方法。

【0026】

態様10：方法は、

(e) フラッシュガス熱交換区分の温側において第2の天然ガス供給流を通過させ、第2の天然ガス流を冷却および液化して、第2の液化された天然ガス流を形成することと、

(f) フラッシュガス熱交換区分から取り出された第2の液化された天然ガス流をフラッシングして、追加のフラッシュガスおよび追加のLNG製品を形成し、追加のLNG製品から追加のフラッシュガスを分離して、フラッシュガス流のための追加のフラッシュガス

50

および LNG 製品流のための追加の LNG 製品を提供することと、をさらに含む、態様 8 または 9 に記載の方法。

【0027】

態様 11：ステップ (b) および (f) における LNG 製品および追加の LNG 製品からのフラッシュガスおよび追加のフラッシュガスの分離は、フラッシングされた第 1 の液化された天然ガス流およびフラッシングされた第 2 の液化された天然ガス流を、流れが蒸気塔頂留出物および液体塔底液に共に分離される気液分離装置内に導入することによって起こり、前記蒸気塔頂留出物を取り出されて、フラッシュガス流を形成し、前記液体塔底液を取り出されて、LNG 製品流を形成する、態様 10 に記載の方法。

【0028】

態様 12：第 2 の熱交換区分は、管側と外殻側とを有する管束を備えるコイル巻き熱交換区分である、態様 1 ~ 11 のいずれか 1 つに記載の方法。

【0029】

態様 13：第 1 の熱交換区分は、熱交換区分を通る複数の分離した通路を画定する冷側を有し、第 1 の膨張した冷たい冷媒流は、第 1 の熱交換区分を通る通路のうち少なくとも 1 つを通過し、通路のうち少なくとも 1 つにおいて温められて、第 1 の温められた気体冷媒流を形成し、第 2 の膨張した冷たい冷媒流は、第 2 の熱交換区分の冷側を通過し、第 2 の熱交換区分の冷側において温められ、次いで、第 1 の熱交換区分を通る通路のうち他の少なくとも 1 つ以上を通過し、通路のうち他の少なくとも 1 つ以上においてさらに温められて、第 2 の温められた気体冷媒流を形成する、態様 1 ~ 12 のいずれか 1 つに記載の方法。

【0030】

態様 14：第 1 の熱交換区分は、管側と外殻側とを有する管束を備えるコイル巻き熱交換区分であり、複数の熱交換区分は、天然ガス流が予冷される、および / または第 2 の冷却された気体冷媒流のすべてまたは一部が冷却される、第 3 の熱交換区分をさらに備え、第 1 の膨張した冷たい冷媒流は、第 1 および第 3 の熱交換区分のうち一方の冷側を通過し、第 1 および第 3 の熱交換区分のうち一方の冷側において温められて、第 1 の温められた気体冷媒流を形成し、第 2 の膨張した冷たい冷媒流は、第 2 の熱交換区分の冷側を通過し、第 2 の熱交換区分の冷側において温められて、次いで、第 3 および第 1 の熱交換区分のうち他方の冷側を通過し、第 3 および第 1 の熱交換区分のうち他方の冷側においてさらに温められて第 2 の温められた気体冷媒流を形成する、態様 1 ~ 12 のいずれか 1 つに記載の方法。

【0031】

態様 15：天然ガス供給流を液化して LNG 製品を生成するシステムであって、システムは、

(a) 複数の熱交換区分の各々に冷凍作用を提供し、それによって第 1 の天然ガス供給流を予冷および液化するための冷却作用を提供する冷媒の循環のための冷凍回路であって、冷凍回路が、

複数の熱交換区分であって、熱交換区分の各々が、温側と、冷側とを有し、複数の熱交換区分が、第 1 の熱交換区分と、第 2 の熱交換区分と、を備え、第 1 の熱交換器の温側が、天然ガス流を受け、かつ予冷するための第 1 の熱交換器の温側を通る少なくとも 1 つの通路を画定し、第 2 の熱交換区分の温側が、第 1 の熱交換区分からの予冷された天然ガス流を受け、かつ液化して、第 1 の液化された天然ガス流を形成するための、第 2 の熱交換区分の温側を通る少なくとも 1 つの通路を画定し、複数の熱交換区分の各々の冷側が、循環する冷媒の膨張流を受け、かつ温めるための複数の熱交換区分の各々の冷側を通る少なくとも 1 つの通路を画定する、複数の熱交換区分と、

循環する冷媒を圧縮し、かつ冷却するための複数の圧縮機および / または圧縮ステージならびに 1 つ以上のインタークーラーおよび / または後段クーラーを備える圧縮トレインであって、冷凍回路は、圧縮トレインは、複数の熱交換区分から第 1 の温められた気体冷媒流および第 2 の温められた気体冷媒流を受けると構成され、第 2 の温められた気体冷

10

20

30

40

50

媒流は、圧縮トレインの、第 1 の温められた気体冷媒流とは異なる、より低い圧力位置で受けられ、圧力位置に導入され、圧縮トレインは、第 1 の温められた気体冷媒流および第 2 の温められた気体冷媒流を圧縮し、冷却し、合わせて、圧縮され、冷却された冷媒の気体流を形成するように構成されている、圧縮トレインと、

第 1 の冷却された気体冷媒流を受け、かつ第 1 の圧力に下げて膨張させて、第 1 の温度および第 1 の圧力で第 1 の膨張した冷たい冷媒流を形成するように構成された第 1 のターボエキスパンダと、

さらに冷却された第 2 の冷却された気体冷媒流を受け、かつ第 2 の圧力に下げて膨張させて、第 2 の温度および第 2 の圧力で第 2 の膨張した冷たい冷媒流を形成するように構成され、第 2 の圧力が、第 1 の圧力よりも低く、第 2 の温度が、第 1 の温度よりも低い、第 2 のターボエキスパンダと、を備え、

冷凍回路が、

圧縮トレインからの、圧縮され冷却された気体冷媒流を分けて第 1 の冷却された気体冷媒流および第 2 の冷却された気体冷媒流を形成し、

複数の熱交換区分のうち少なくとも 1 つの温側に第 2 の冷却された気体冷媒流を通過させ、かつ複数の熱交換区分のうち少なくとも 1 つの温側において第 2 の冷却された気体冷媒流を冷却して、さらに冷却された第 2 の冷却された気体冷媒流を形成し、

少なくとも第 1 の熱交換区分、および / または第 2 の冷たい気体冷媒流のすべてまたは一部が冷却される熱交換区分を備える、複数の熱交換区分のうち少なくとも 1 つの冷側に第 1 の膨張した冷たい冷媒流を通過させ、かつ複数の熱交換区分のうち少なくとも 1 つの冷側において第 1 の膨張した冷たい冷媒流を温めて、少なくとも第 2 の熱交換区分を備える複数の熱交換区分のうち少なくとも 1 つの冷側に第 2 の膨張した冷たい冷媒流を通過させ、かつ複数の熱交換区分のうち少なくとも 1 つの冷側において第 2 の膨張した冷たい冷媒流を温めるステップであって、第 1 および第 2 の膨張した冷たい冷媒流が、分離されたままにされ、複数の熱交換区分のうちのいずれの冷側においても混合されず、第 1 の膨張した冷たい冷媒流が、温められて、第 1 の温められた気体冷媒流を形成し、第 2 の膨張した冷たい冷媒流が、温められて、第 2 の温められた気体冷媒流を形成するように構成されている、冷凍回路と、

(b) 第 1 の液化された天然ガス流を複数の熱交換区分のうち第 2 の熱交換区分から受け、かつ第 1 の液化された天然ガス流をフラッシングして、フラッシュガスおよび LNG 製品を形成するように構成された、圧力低下装置と、

(c) フラッシュガスを LNG 製品から分離して、フラッシュガス流および LNG 製品流を形成するように構成された、気液分離装置と、

(d) フラッシュガス流を受け、かつ圧縮し、圧縮されたフラッシュガスを第 1 の天然ガス供給流内に再循環させるためのフラッシュガス圧縮機と、を備える、システム。

【 0 0 3 2 】

態様 1 6 : システムは、

(e) フラッシュガス流がフラッシュガス圧縮機によって受けられ、かつ圧縮される前に、冷気をフラッシュガス流から回収するためのフラッシュガス熱交換区分をさらに備え、フラッシュガス熱交換区分が、温側および冷側を有し、冷側が、フラッシュガス流を受けて温めるための冷側を通る 1 つ以上の通路を画定している、態様 1 5 に記載のシステム。

【 0 0 3 3 】

態様 1 7 : フラッシュガス熱交換区分の温側は、第 2 の天然ガス供給流を受け、冷却し、かつ液化して、第 2 の液化された天然ガス流を形成するための温側を通る 1 つ以上の通路を画定している、態様 1 6 に記載のシステム。

【 0 0 3 4 】

態様 1 8 : システムは、

(e) 第 2 の液化された天然ガス流をフラッシュガス熱交換区分から受け、かつ第 2 の液化された天然ガス流をフラッシングして、追加のフラッシュガスおよび追加の LNG 製品を形成するように構成された、圧力低下装置をさらに備え、

10

20

30

40

50

気液分離装置は、追加のフラッシュガスも追加の LNG 製品から分離して、フラッシュガス流のための追加のフラッシュガス、および LNG 製品流のための追加の LNG 製品を提供するように構成されている、態様 17 に記載のシステム。

【図面の簡単な説明】

【0035】

【図1】図1は、従来技術による天然ガス液化方法およびシステムを示す概略的なフロー図である。

【0036】

【図2】図2は、第1の実施形態による天然ガス液化方法およびシステムを示す概略的なフロー図である。

10

【0037】

【図3】図3は、第2の実施形態による天然ガス液化方法およびシステムを示す概略的なフロー図である。

【0038】

【図4】図4は、第3の実施形態による天然ガス液化方法およびシステムを示す概略的なフロー図である。

【0039】

【図5】図5は、第4の実施形態による天然ガス液化方法およびシステムを示す概略的なフロー図である。

【発明を実施するための形態】

20

【0040】

浮体式 LNG (FLNG) の適用、ピークシェーピングの適用、モジュラー液化設備、小規模設備、および/または高いプロセス効率望ましく、二相の冷媒流および二相の冷媒の分離が好ましくなく、可燃性冷媒の大量の在庫の管理が問題であり得、大量の純窒素または他の必要とされる冷媒成分が利用不可能であり得、または得ることが困難であり得、および/またはプラントの利用可能な面積によって、冷凍システムにおいて使用されることが出来る熱交換器、圧縮機、エキスパンダ、および管の寸法が制限される、任意の他の適用に特に好適であり、かつ魅力的な天然ガスを液化するための方法およびシステムが本明細書において開示される。

【0041】

30

本明細書で使用される場合、別途示されない限り、冠詞「a」および「an」は、明細書および請求項において説明される本発明の実施形態における任意の特徴に適用されるとき、1つ以上を意味する。「a」および「an」の使用は、そのような制限が特に述べられない限り、単一の特徴に意味を限定しない。単数または複数の名詞または名詞句に先行する「the」という記述は、1つの特に指定された特徴または複数の特に指定された特徴を示し、それが使用される文脈に依存して単数または複数の含意を有してもよい。

【0042】

文字が本明細書で、方法(例えば、(a)、(b)および(c))の列挙されたステップを特定するように使用される場合、これらの文字は方法ステップを参照することを補助するためだけに使用され、特許請求されたステップが実行される特定の順序を、そのような順序が特に列挙されない限り、およびそのような順序が特に列挙される範囲までのみ、示すように意図される。

40

【0043】

方法またはシステムの列挙された特徴を特定するように本明細書で使用される場合、「第1の」、「第2の」、「第3の」などの用語は、当該の特徴を参照すること、および区別することを補助するためにのみ使用され、そのような順序が特に列挙されない限り、およびそのような順序が特に列挙される範囲までのみ、特徴の任意の特定の順序を示すように意図されない。

【0044】

本明細書で使用されるような、用語「天然ガス」および「天然ガス流」は、合成および

50

／または代替天然ガスを含む気体および流れも包含する。天然ガスの主な成分はメタン（典型的に供給流の少なくとも85モル%、より多くは少なくとも90モル%、および平均的に約95モル%含む）である。天然ガスはまた、エタン、プロパン、ブタン、ペンタン等の、より少量の他の、より重い炭化水素を含有し得る。原天然ガスの他の典型的な成分は、窒素、ヘリウム、水素、二酸化炭素および／または他の酸性ガス、および水銀などの1つ以上の成分を含む。しかしながら、本発明に従って処理された天然ガス供給流は、水分、酸性ガス、水銀および／または、より重い炭化水素などの氷点の（比較的）高い任意の成分の度合いを、天然ガスが液化される1つの、または複数の熱交換区分における凍結または他の動作上の問題を避けるために必要である度合いまで減少させる場合、もしくは減少させる必要に応じて、前処理される。

10

【0045】

本明細書で使用されるような、「冷凍サイクル」という用語は、別の液体に冷凍作用を提供するために循環する冷媒が通る一連のステップを指し、「冷凍回路」という用語は、冷凍サイクルの上述のステップを実行する冷媒が循環する一連の接続された装置を指す。本明細書で説明される方法およびシステムでは、冷凍回路は、循環する冷媒が温められて冷凍作用を提供する複数の熱交換区分と、循環する冷媒が圧縮され、かつ冷却される複数の圧縮機および／または圧縮段、および1つ以上のインタークーラーおよび／または後段クーラーを含む圧縮トレインと、ならびに循環する冷媒が膨張されて、熱交換区分に供給されるための冷たい冷媒を提供する少なくとも2つのターボエキスパンダを含む。

20

【0046】

本明細書で使用されるような、「熱交換区分」という用語は、熱交換器の冷側を流れる液体の1つ以上の流れと、熱交換器の温側を流れる液体の1つ以上の流れとの間で間接的な熱交換が行われるユニットまたは部分を指し、冷側を流れる液体の流れはそれによって温められ、温側を流れる液体の流れはそれによって冷却される。

【0047】

本明細書で使用されるような、「間接的な熱交換」という用語は、2つの液体間の熱交換を指し、2つの液体は何らかの形状の物理的な障壁によって互いから分離されている。

【0048】

本明細書で使用されるような、熱交換区分の部分を指すように使用される「温側」という用語は、冷側を流れる液体での間接的な熱交換によって冷却される液体の1つまたは複数の流れが通す熱交換器の側を指す。温側は、液体の単一の流れを受ける熱交換区分を通る単一の通路、または熱交換区分を通過するときに互いから分離されている同じまたは異なる液体の多数の流れを受ける熱交換区分を通る1つ以上の通路を画定してもよい。

30

【0049】

本明細書で使用されるような、熱交換区分の部分を指すように使用される「冷側」という用語は、温側を流れる液体での間接的な熱交換によって温められる液体の1つまたは複数の流れが通過する熱交換器の側を指す。冷側は、液体の単一の流れを受ける熱交換区分を通る単一の通路、または熱交換区分を通過するときに互いから分離されている液体の多数の流れを受ける熱交換区分を通る1つ以上の通路を画定し得る。

40

【0050】

本明細書で使用されるような、「コイル巻き熱交換器」という用語は、外殻ケーシングに入れられた1つ以上の管束を含む当技術において知られた種類の熱交換器を指し、各管束はそれ自体の外殻ケーシングを有してもよく、または2つ以上の管束が共通の外殻ケーシングを共有してもよい。各管束は「コイル巻き熱交換区分」となってもよく、束の管側はその区分の温側となり、その区分を通る1つ以上の通路を画定し、束の外殻側は、その区分を通る単一の通路を画定するその区分の冷側となる。コイル巻き熱交換器は、堅牢さ、安全性、および熱伝導効率で知られた小型設計の熱交換器であり、したがって、面積の割に効率性の度合いの高い熱交換を提供する利点を有する。しかしながら、外殻側は熱交

50

換区分を通る単一の通路のみ確定するため、冷媒流がその熱交換区分の冷側において混合することなく、各コイル巻き熱交換区分の冷側（外殻側）において1つ以上の冷媒流を使用することはできない。

【0051】

本明細書で使用されるような、「ターボエキスパンダ」という用語は、その中およびそれを通して気体が作用膨張し（膨張されて作用を生成し）、それによって気体の圧力および温度を下げる、遠心性、放射状、または軸流のタービンを指す。このような装置は、当技術において膨張タービンとも呼ばれる。ターボエキスパンダによって生成される作用は、任意の所望される目的に使用されてもよい。例えば、圧縮機（1つ以上の圧縮機または冷媒圧縮トレインの圧縮段など）を駆動するため、および/または発電機を駆動するために使用されてもよい。

10

【0052】

本明細書で使用される場合、「フラッシング」（当該技術分野で「フラッシュ蒸発」とも呼ばれる）という用語は、液体または二相（即ち、気体 - 液体）流の圧力を低下させて、流れを部分的に気化し、それによって圧力および温度が低下した二相流である「フラッシングされた」流れを生成するプロセスを指す。フラッシングされた流れに存在する蒸気（即ち、気体）は、本明細書では「フラッシュガス」とも呼ばれる。液体または二相流は、その流れを、例えば、J-T弁または水力タービン（または他のワーク膨張装置）等の、その流れの圧力を低下させ、それによってその流れを部分的に気化するために適切な任意の圧力低下装置に通過させることによってフラッシングされ得る。

20

【0053】

本明細書で使用される場合、「J-T」弁または「ジュールトムソン弁」は、その中で、およびそれを通して液体がスロットル調整され、それによってジュールトムソン膨張を介して液体の圧力および温度を下げる弁を指す。

【0054】

本明細書に使用される場合、「気液分離装置」という用語は、限定されるものではないが、フラッシュドラムまたはロックアウトドラム等の容器を指し、二相流が、その流れをその構成気相および液相に分離するために導入され、それによって気相が、容器の頂部に集まり、そこから取り出されることができ、液相が、容器の底部に集まり、そこから取り出されることができる。容器の頂部に集まる蒸気はまた、本明細書では「塔頂留出物」または「蒸気塔頂留出物」と呼ばれ、容器の底部に集まる液体はまた、「塔底液」または「塔底液体」とも呼ばれる。J-T弁が液体または二相流をフラッシングするために使用され、かつ気液分離装置（例えば、フラッシュドラム）が、結果として得られるフラッシュガスおよび液体を分離するために使用されている場合、弁および分離装置は、例えば、液体または二相流が導入される分離装置への入口にバルブが配置される等の、単一装置に組み合わせられてもよい。

30

【0055】

本明細書で使用されるような、「閉ループサイクル」、「閉ループ回路」などの用語は、通常動作中、冷媒が回路から除去されない、かつ回路に追加されない（漏れなどを通してなど小さな意図されない損失を補償するため以外で）冷凍サイクルまたは回路を指す。したがって、閉ループ冷凍回路では、任意の熱交換区分の温側において冷却されている液体が冷媒流と、冷却される、および/または液化される天然ガス流との両方を含む場合、その冷媒流および天然ガス流は、その流れが分離され、かつ混合しないようにその熱交換区分の温側において別々の通路を通過する。

40

【0056】

本明細書で使用されるような、「開ループサイクル」、「開ループ回路」などは、液化される供給流、即ち、天然ガスも循環冷媒を提供し、それによって通常動作中に継続的に回路に冷媒が追加される、および回路から冷媒が除去される、冷媒サイクルまたは回路を指す。したがって、例えば、開ループサイクルでは、天然ガス流は開ループ回路内に天然ガス供給と補償冷媒との組み合わせとして導入されてもよく、天然ガス流は次に熱交換区

50

分の温められた気体冷媒流と組み合わせられて、次に圧縮トレインにおいて圧縮され冷却され得る、組み合わせられた流れを形成して、圧縮され冷却された気体冷媒流を形成し、その一部分は、その後、分けられて、液化される天然ガス供給流を形成する。

【0057】

単に例示のために、ある先行技術の配置および本発明の例示の実施形態が、図1～5を参照して説明される。明確性および簡潔性のために、1つ以上の図で、各図における同じ参照符号が割り当てられた特徴は共通である。

【0058】

図1を参照して、先行技術による天然ガス液化方法およびシステムが示される。原天然ガス供給流100は、前処理システム101において選択的に前処理されて、水銀、水、酸性ガス、および重炭化水素などの不純物を除去し、前処理された天然ガス供給流102を生成し、前処理された天然ガス供給流102は予冷システム103において選択的に予冷されて、天然ガス供給流104を生成してもよい。

10

【0059】

天然ガス供給流104は、分けられて、第1の天然ガス供給流194および第2の天然ガス供給流192を形成する。圧縮されたフラッシュガス流191は、結果として得られる第1の天然ガス流195（再循環されたフラッシュガスも含有する）が、以下にさらに説明されるように、メインクライオジェニック熱交換器（MCHE）198内で予冷および液化される前に、第1の天然ガス供給流194と混合されることによって再循環される。代替的に、圧縮されフラッシングされたガス流191が、その流れが分けられて第1および第2の天然ガス供給流を形成する前に、天然ガス供給流104と混合されることによって再循環されてもよい。

20

【0060】

第1の天然ガス供給流195は、MCHE198において予冷および液化され、MCHE198は、図1に示されるように、2つの熱交換区分、即ち、第1の天然ガス供給流が冷却されて、予冷された第1の天然ガス供給流105を生成する、温区分198Aと、予冷された第1の天然ガス供給流105がさらに冷却および液化されて、第1の液化された天然ガス流106を生成する冷区分198Bとを備える。第1の液化された天然ガス流106は、次いで、第1のJ-T弁108の絞り調整を介してフラッシングされる。

【0061】

MCHE198は、コイル巻き熱交換器（図1に示される）、プレートフィン熱交換器、シェルアンドチューブ熱交換器、または当技術において知られた任意の他の適切なタイプの熱交換器等の、任意の種類熱交換器とすることができる。MCHE198はまた、1つの区分のみ、または3つ以上の区分（示された2つの区分以外）からなってもよい。これらの熱交換区分は、1つの共通ケーシング（図示せず）内、または別々の熱交換器ケーシング内に配置され得る。

30

【0062】

第2の天然ガス供給流192は、フラッシュガス熱交換区分126内で冷却および液化されて、第2の液化された天然ガス流193を生成し、第2の液化された天然ガス流193は、第2のJ-T弁200の絞り調整を介してフラッシングされて、フラッシングされた第2の液化された天然ガス流を生成し、フラッシングされた第2の液化された天然ガス流は、フラッシングされた第1の液化された天然ガス流110と混合されて、混合流122を生成する。混合流122は、気液分離装置（この場合においてエンドフラッシュドラム）120に送られる。エンドフラッシュドラム120から塔頂留出物として除去されたフラッシュガスは、フラッシュガス流125を形成し、フラッシュガス流125は、フラッシュガス熱交換区分126内で温められ、それによってフラッシュガス熱交換区分126に冷凍作用および冷却作用を提供する。フラッシュガス熱交換区分126を出る、温められたフラッシュガス流127は、フラッシュガス圧縮器128内で圧縮されて、圧縮されたフラッシュガス流129を生成し、フラッシュガス後段クーラー190内で大気または冷却水に対して冷却されて、圧縮されたフラッシュガス流191を生成し、圧縮

40

50

されたフラッシュガス流 191 は、第 1 の天然ガス供給流 194 内に再循環される。

【0063】

エンドフラッシュドラム 120 からの塔底液体は、LNG 製品流 121 として除去され、この場合において、LNG 降圧弁 123 内で降圧されて、圧力が下げられた LNG 製品流 124 を生成し、LNG 製品流 124 は、LNG 貯蔵タンク 115 に送られる。LNG 貯蔵タンク内で生成された任意のボイルオフガス（またはさらなるフラッシュガス）は、ボイルオフガス（BOG）流 112 としてタンクから除去され、ボイルオフガス（BOG）流 112 は、プラント内で燃料として使用され得るか、もしくは燃やされ得るか、またはフラッシュガス流 125 と混合されて、その後、供給へ再利用され得る。

【0064】

MCH E 198 への冷凍作用は、MCH E 198 の熱交換区分 198 A、198 B を備える冷凍回路、圧縮システム 136 および後段クーラー 156 を備える圧縮トレイン、第 1 のターボエキスパンダ 164 および第 2 のターボエキスパンダ 172 を循環する冷媒によって提供される。温かい気体冷媒流 130 は、MCH E 198 から取り出され、一時的な非設計動作中に存在する任意の液体は、ロックアウトドラム 132 内で除去され得る。塔頂の温かい気体冷媒流 134 は、次いで、圧縮システム 136 内で圧縮されて、圧縮された冷媒流 155 を生成する。冷媒圧縮システム 136 において、塔頂の温かい気体冷媒流 134 は第 1 の圧縮機 137 において圧縮されて、第 1 の圧縮された冷媒流 138 を生成し、第 1 のインタークーラー 139 において大気または冷却水に対して冷却されて、第 1 の冷却され圧縮された冷媒流 140 を生成し、第 1 の冷却され圧縮された冷媒流 140 は第 2 の圧縮機 141 においてさらに圧縮されて、第 2 の圧縮された冷媒流 142 を生成する。第 2 の圧縮された冷媒流 142 は第 2 のインタークーラー 143 において大気または冷却水に対して冷却されて、第 2 の冷却され圧縮された冷媒流 144 を生成し、第 2 の冷却され圧縮された冷媒流 144 は 2 つの部分、第 1 の部分 145 および第 2 の部分 146 に分かれる。第 2 の冷却され圧縮された冷媒流 145 の第 1 の部分は、第 3 の圧縮機 147 において圧縮されて、第 3 の圧縮された流れ 148 を生成し、一方で第 2 の冷却され圧縮された冷媒流 146 の第 2 の部分は第 4 の圧縮機 149 において圧縮されて、第 4 の圧縮された流れ 150 を生成する。第 3 の圧縮された流れ 148 および第 4 の圧縮された流れ 150 は混合されて、圧縮された冷媒流 155 を生成する。

【0065】

圧縮された冷媒流 155 は冷媒後段クーラー 156 において大気または冷却水に対して冷却されて、圧縮され冷却された気体冷媒流 158 を生成する。冷却され圧縮された気体冷媒流 158 は、次に 2 つの流れ、即ち第 1 の冷却された気体冷媒流 162 および第 2 の冷却された気体冷媒流 160 に分けられる。第 2 の流れ 160 は、第 1 の天然ガス供給流 104 が通過する通路への MCH E 198 の温区分 198 A の温側における別の通路を介して MCH E 198 の温区分 198 A の温側を通過し、かつ MCH E 198 の温区分 198 A の温側において冷却され、さらに冷却された第 2 の冷却された気体冷媒流 168 を生成し、一方で、第 1 の流れ 162 は第 1 のターボエキスパンダ 164（本明細書で温エキスパンダとも呼ばれる）において膨張されて、MCH E 198 の温区分 198 A の冷側を通過した第 1 の膨張された冷たい冷媒流 166 を生成し、第 1 の天然ガス供給流 104 を予冷し、かつ第 2 の冷却された気体冷媒流 160 を冷却するために冷凍および冷却作用を提供するために温められる。

【0066】

さらに冷却された第 2 の冷却された冷媒流 168 は、第 2 のターボエキスパンダ 172（本明細書では冷エキスパンダと呼ばれる）において膨張されて、MCH E 198 の冷区分 198 B の冷側を通過させられた第 3 の膨張した冷たい冷媒流 174 を生成し、予冷された第 1 の冷却された天然ガス供給流 105 を液化するための冷凍および冷却作用を提供するために温められ、次に MCH E 198 の温区分 198 A の冷側を通過させられ、MCH E 198 の温区分 198 A の冷側においてさらに温められ、そこで第 1 の膨張した冷たい冷媒流 166 と混合する。第 1 および第 2 の膨張した冷たい冷媒流 166 および 174

10

20

30

40

50

は、第1および第2のターボエキスパンダ164および172のそれぞれを出るときに0.8よりも大きい、好ましくは0.85より大きい蒸気率を有する、少なくとも主に気体である。

【0067】

第3の圧縮機147は、温エキスパンダ164によって生成された力によって少なくとも部分的に駆動されてもよく、一方で、第4の圧縮機149は、冷エキスパンダ172によって生成された力によって少なくとも部分的に駆動されてもよく、またはその逆でもよい。同等に、温および/または冷エキスパンダは、圧縮トレインにおける他の圧縮機のいずれかを駆動することができる。図1において別々の圧縮機として示されるが、圧縮システムにおける2つ以上の圧縮機は単一の圧縮ユニットの圧縮段の代わりであることができる。同等に、1つ以上の圧縮機は1つ以上のエキスパンダによって駆動され、関連付けられた圧縮機およびエキスパンダは、1つの本体内に配置され、かつ圧縮機エキスパンダ本体またはコンパンダと共に呼ばれ得る。

10

【0068】

図1に示される先行技術の配置の欠点は、冷媒が、温かい、かつ中間の区分に冷却作用をおよそ同じ圧力で提供することである。これは、冷たい流れが温かい区分の上部で混合し、その結果、温および冷エキスパンダから同様の出力圧力をもたらすためである。先行技術の構成におけるこれらの出力圧力における任意の微細な違いは、冷および温区分にわたる熱交換器の冷側の圧力降下のためであり、各区分に対して典型的には約45 psia (3 bara)、好ましくは25 psia (1.7 bara)未満、およびより好ましくは10 psia (0.7 bara)未満である。この圧力低下は熱交換器の種類に基づいて変化する。それゆえに、先行技術の構成は、所望される冷媒温度に基づく冷流の圧力を調整する選択肢を提供しない。

20

【0069】

図2は、図1に対する改善を提案する、第1の実施形態を示す。

【0070】

原天然ガス供給流100は、前処理システム101において選択的に前処理されて、水銀、水、酸性ガス、および重炭化水素などの不純物を除去し、前処理された天然ガス供給流102を生成し、前処理された天然ガス供給流102は予冷システム103において選択的に予冷されて、天然ガス供給流104を生成してもよい。

30

【0071】

天然ガス供給流104は、分けられて、第1の天然ガス供給流194および第2の天然ガス供給流192を形成する。圧縮されたフラッシュガス流191は、結果として得られる第1の天然ガス流195(再循環されたフラッシュガスも含有する)が、以下にさらに説明されるように、予冷および液化される前に、第1の天然ガス供給流194と混合されることによって再循環される。代替的に、圧縮されたフラッシュガス流191が、その流れが分けられて第1および第2の天然ガス供給流を形成する前に、天然ガス供給流104と混合されることによって再循環されてもよい。第2の天然ガス供給流192は、天然ガス供給流104(再循環されたフラッシュガス流を無視する)の好ましくは約5モル%~30モル%、より好ましくは約10モル%~20モル%である。その結果、第2の天然ガス供給流192の第1の天然ガス供給流194に対するモル流量の比率(再循環されたフラッシュガス流を無視する)は、好ましくは約0.05~0.45、より好ましくは約0.1~0.25である。

40

【0072】

第1の天然ガス供給流195は、第1の熱交換区分198A内で冷却されて、予冷された第1の天然ガス流105を生成し、第1の熱交換区分198Aからの予冷された第1の天然ガス流105は、次いで、第2の熱交換区分198B内でさらに冷却および液化されて、第1の液化された天然ガス流106を生成する。第2の熱交換区分198Bから取り出された第1の液化された天然ガス流106は、次いで、例えば、第1のJ-T弁108の絞り調整を介して、フラッシングされて、フラッシングされた第1の液化された

50

天然ガス流 110 を生成する。

【0073】

第1および第2の熱交換区分198A、198Bは、コイル巻き区分、プレートフィン区分、シェルアンドチューブ区分、または当技術において知られた任意の他の適切なタイプの熱交換区分等の、任意のタイプの熱交換区分であり得る。しかしながら、好ましい実施形態において第1および第2の熱交換区分198A、198Bは、各々コイル巻き熱交換区分である（第1の熱交換区分が第1の管束を備え、第2の熱交換区分が第2の管束を備える、図2に示される等の）。追加の熱交換区分が、存在してもよい。熱交換区分は、第1および第2の熱交換区分198A、198Bがコイル巻きMCH E 198の単一外殻ケーシング内に収容される、図2に示される等のすべてが1つのケーシング内に配置されてもよく、第1の熱交換区分198Aは、MCH E 198の温区分（温管束）を表し、第2の熱交換区分198Bは、MCH E 198の冷区分（冷管束）を表す。代替的に、第1および第2の熱交換区分198A、198Bが別々のケーシング内に収容されてもよい。

10

【0074】

第2の天然ガス供給流192は、フラッシュガス熱交換区分126内で冷却および液化されて、第2の液化された天然ガス流193を生成し、第2の液化された天然ガス流193は、例えば、第2のJ-T弁200のスロットル調整を介してフラッシングされて、フラッシングされた第2の液化された天然ガス流を生成し、フラッシングされた第2の液化された天然ガス流は、フラッシングされた第1の液化された天然ガス流110と混合されて、混合流122を生成する。混合流122は、気液分離装置（この場合においてエンドフラッシュドラム）120に送られる。エンドフラッシュドラム120から塔頂留出物として除去されたフラッシュガスは、フラッシュガス流125を形成し、フラッシュガス流125は、フラッシュガス熱交換区分126内で温められ、それによってフラッシュガス熱交換区分126に冷凍作用および冷却作用を提供する。フラッシュガス熱交換区分126を出る、温められたフラッシュガス流127は、フラッシュガス圧縮器128内で圧縮されて、圧縮されたフラッシュガス流129を生成し、フラッシュガス後段クーラー190内で大気または冷却水に対して冷却されて、圧縮されたフラッシュガス流を生成し、圧縮されたフラッシュガス流は、第1の天然ガス供給流194内に再循環される。フラッシュガス熱交換区分126は、コイル巻き区分、プレートフィン区分（図2に示されるような）またはシェルアンドチューブ区分等の、任意の適切な熱交換器タイプの熱交換区分であつてもよい。1つよりも多いフラッシュガス熱交換区分がまた使用されてもよく、区分は、単一または別々のケーシング内に収容されてもよい。第2のLNG流193は、典型的には、約-140~-150の温度で生成される（即ち、フラッシュガス熱交換区分126を出る）。

20

30

【0075】

エンドフラッシュドラム120からの塔底液流は、LNG製品流121として除去され、第1のLNG降圧弁123内で降圧されて（示されるように）、圧力が下げられたLNG製品流124を生成し、LNG製品流124は、LNG貯蔵タンク115に送られる。LNG貯蔵タンク内で生成されたか、またはその中に存在する任意のボイルオフガス（またはさらなるフラッシュガス）は、ボイルオフガス（BOG）流112としてタンクから除去され、ボイルオフガス（BOG）流112は、プラント内で燃料として使用され得るか、もしくは燃やされ得るか、またはフラッシュガス流125と混合されて、その後、供給へ再利用され得る。

40

【0076】

代替的な実施形態において、フラッシュガス熱交換区分126内で第2の天然ガス供給流を冷却する代わりに、例えば、第2の冷却された気体冷媒流等160の、別のタイプの流れが、フラッシュガス熱交換区分126の温側を通過させられ、その中で冷却されてもよい。さらに別に実施形態において、フラッシュガス熱交換区分126の温側は、熱交換器区分を通る複数の別々の通路を画定し得、例えば、第2の天然ガス供給流および冷媒流等の2つ以上の異なる流れが、フラッシュガス熱交換区分126の温側を別々に通過して

50

、その中で冷却されることを可能にする。

【0077】

上記のように、図2に示される実施形態においてMCH E 198は、単一外殻ケーシング内に收容される第1の熱交換区分(温区分/管束)198Aおよび第2の熱交換区分(冷区分/管束)198Bを備えるコイル巻き熱交換ユニットである。図2のMCH E 198は、温区分198Aの冷側を冷区分198Bの冷区分から分離するヘッド118をさらに備え、それによって冷区分198Bの冷側を通して流れる冷媒が温区分198Aの冷側に流れ込むことを防止する。したがって、ヘッド118は、外殻側の圧力を含み、かつ温区分の冷側が冷区分の冷側とは異なる外殻側圧力であることを可能にする。しかしながら、上記のように、図2に示された実施形態の変形において、2つの別々の熱交換ユニットが使用されてもよく、第1の熱交換区分198Aは、それ自体の外殻ケーシング内に收容され、第2の熱交換ユニット198Bは、別の別々の外殻ケーシング内に入れられ、それによってヘッド118の必要性を排除する。

10

【0078】

冷凍作用は、閉ループ冷凍回路内を循環する冷媒によって第1および第2の熱交換区分198Aおよび198Bに提供され、閉ループ回路は、熱交換区分198A、198Bと、圧縮システム136(圧縮機/圧縮段137、141、147、149およびインタークーラー139、143)および後段クーラー156を備える圧縮トレインと、第1のターボエキスパンダ164と、第2のターボエキスパンダ172と、を含む。

【0079】

第1の温められた気体冷媒流131は、第1の熱交換区分198Aの冷側の温端から引き出される。第1の温められた気体冷媒流131は、ロックアウトドラム(図示せず)に送信されて、一時的な非設計動作中に流れの中に存在し得る任意の液体を除去し得る。第2の温められた気体冷媒流171は、第2の熱交換区分198Bの冷側の温端から取り出され、第2の温められた気体冷媒流171は、第1の温められた気体冷媒流131よりも低圧である。この実施形態において第2の温められた気体冷媒流171はまた、第1の温められた気体冷媒流よりも低低温であり、第2の温められた気体冷媒流の温度は、典型的には、約-40~-70である。第2の温められた気体冷媒流171は同様に、別のロックアウトドラム132に送られて、一時的な非設計動作中に存在し得る任意の液体を除去し得、第2の温められた気体冷媒流は、塔頂流134としてロックアウトドラム132を出る。第1の温められた気体冷媒流131および第2の温められた気体冷媒流134は、次に圧縮システム136の異なる位置に導入され、第2の温められた気体冷媒流は、第1の温められた気体冷媒流よりも圧力の低い位置で圧縮システム内に導入される。

20

30

【0080】

冷媒圧縮システム136では、第2の温められた気体冷媒流134は第1の圧縮機/圧縮段137において圧縮されて、第1の圧縮された冷媒流138を生成し、第1の圧縮された冷媒流138は第1のインタークーラー139において大気または冷却水に対して冷却されて、第1の冷却され圧縮された冷媒流140を生成する。第1の温められた気体冷媒流131は第1の冷却され圧縮された冷媒流140と混合されて、混合された中間圧力冷媒流151を生成し、混合された中間圧力冷媒流151は第2の圧縮機141においてさらに圧縮されて、第2の圧縮された冷媒流142を生成する。第2の圧縮された冷媒流142は第2のインタークーラー143において大気または冷却水に対して冷却されて、第2の冷却され圧縮された冷媒流144を生成し、第2の冷却され圧縮された冷媒流144は2つの部分、第1の部分145および第2の部分146に分けられる。第2の冷却され圧縮された冷媒流145の第1の部分は第3の圧縮機147において圧縮されて、第3の圧縮された流れ148を生成し、一方で、第2の冷却され圧縮された冷媒流146の第2の部分は第4の圧縮機149において圧縮されて、第4の圧縮された流れ150を生成する。第3の圧縮された流れ148および第4の圧縮された流れ150は混合されて、圧縮された冷媒流155を生成する。

40

【0081】

50

圧縮された冷媒流 155 は、冷媒後段クーラー 156 において大気または冷却水に対して冷却されて、圧縮され冷却された気体冷媒流 158 を生成する。冷却され圧縮された気体冷媒流 158 は、次に 2 つの流れ、即ち第 1 の冷却された気体冷媒流 162 および第 2 の冷却された気体冷媒流 160 に分かれる。第 2 の冷却された気体冷媒流 160 は、第 1 の熱交換区分 198A の温側における別々の通路を介して天然ガス供給流 195 が通過させられる通路へ、第 1 の熱交換区分 198A の温側を通過し、第 1 の熱交換区分 198A の温側において冷却されて、さらに冷却された第 2 の冷却された気体冷媒流 168 を生成する。第 1 の冷却された気体冷媒流 162 は第 1 のターボエキスパンダ 164 (本明細書では温エキスパンダと呼ばれる) において膨張され第 1 の圧力へ圧力を下げられて、第 1 の膨張した冷たい冷媒流 166 を第 1 の温度および第 1 の圧力で生成し、第 1 の膨張した冷たい冷媒流 166 は、第 1 のターボエキスパンダを出るときに 0.8 より大きい、好ましくは 0.85 より大きい蒸気率を有する、少なくとも主に気体である。第 1 の膨張した冷たい冷媒流 166 は、第 1 の熱交換区分 198A を通過し、そこで温められて、第 1 の天然ガス供給流 195 を予冷し、かつ第 2 の冷却された気体冷媒流 160 を冷却するための冷凍および冷却作用を提供して、予冷された第 1 の天然ガス流 105 およびさらに冷却された第 2 の冷却された気体冷媒流 168 をそれぞれ生成し、第 1 の膨張した冷たい冷媒流 166 は、温められて、第 1 の温められた気体冷媒流 131 を形成する。予冷された第 1 の天然ガス流 105 およびさらに冷却された第 2 の冷却された気体冷媒流 168 は、約 -25 ~ -70、好ましくは約 -35 ~ -55 の温度の温度で生成される。

10

20

【0082】

第 2 の冷却された気体冷媒流 168 は、第 2 のターボエキスパンダ (本明細書では冷エキスパンダとも呼ばれる) 172 において膨張され第 2 の圧力まで下げられて、第 2 の膨張した冷たい冷媒流 174 を第 2 の温度および第 2 の圧力で生成し、第 2 の膨張した冷たい冷媒流 174 は、第 2 のターボエキスパンダを出るときに、0.8 より大きい、好ましくは 0.85 より大きい蒸気率を有する、少なくとも主に気体である。第 2 の温度および第 2 の圧力は、それぞれ、第 1 の温度および第 1 の圧力よりも各々低い。第 2 の膨張した冷たい冷媒流 174 は、第 2 の熱交換区分 198B を通過し、そこで温められて、予冷された第 1 の天然ガス供給流 105 を液化するための冷凍および冷却作用を提供して、第 1 の液化された天然ガス冷媒流 106 を生成し、第 2 の膨張した冷たい冷媒流 174 は、温められて、第 2 の温められた気体冷媒流 171 を形成する。第 1 の液化された天然ガス流 106 は、典型的には、約 -100 ~ 約 -145 の温度、より好ましくは約 -110 ~ 約 -145 の温度で生成される。

30

【0083】

第 2 の冷却された気体冷媒流 160 は、冷却され圧縮された気体冷媒流 158 の約 35 モル% ~ 80 モル%、および冷却され圧縮された気体冷媒流 158 の好ましくは約 50 モル% ~ 70 モル% である。

【0084】

上記のように、第 2 の圧力 (第 2 の膨張した冷たい冷媒流 174 の圧力) は、第 1 の圧力 (第 1 の膨張した冷たい冷媒流 166 の圧力) よりも低い。好ましい実施形態では、第 1 の圧力の第 2 の圧力に対する圧力比は、1.5 : 1 ~ 2.5 : 1 である。好ましい実施形態では、第 1 の膨張した冷たい冷媒流 166 の圧力は、約 10 bara ~ 40 bara であり、一方で第 2 の膨張した冷たい冷媒流 174 の圧力は、約 5 bara ~ 25 bara である。対応して、第 2 の温められた気体冷媒流 173 は、約 5 bara ~ 25 bara の圧力を有し、一方で第 1 の温められた気体冷媒流 131 は、約 10 bara ~ 40 bara の圧力を有する。

40

【0085】

第 3 の圧縮機 147 は、温エキスパンダ 164 によって生成された力によって少なくとも部分的に駆動されてもよく、一方で、第 4 の圧縮機 149 は、冷エキスパンダ 172 によって生成された力によって少なくとも部分的に駆動されてもよく、またはその逆でもよい。代替的に、圧縮システムにおける他の圧縮機のうちのいずれかは温エキスパンダおよ

50

び/または冷エキスパンダによって少なくとも部分的に駆動されることができる。圧縮機およびエキスパンダユニットは、1つのケーシングに配置されてもよく、圧縮機 - エクスパンダアセンブリまたはコンパンドと呼ばれる。必要な任意の追加の力が、電気モータまたはガスタービン等の外部ドライバを使用して提供されてもよい。コンパンドを使用することは回転機器のプロット空間を下げ、全体的な効率を改善する。

【0086】

図2に示される冷媒圧縮システム136は例示の配置であり、圧縮システムおよび圧縮機のいくつかの変形が可能である。例えば、図2では別々の圧縮機として示されるが、圧縮システムにおける2つ以上の圧縮機が単一の圧縮ユニットの圧縮段の代わりになることができる。同等に、示される各圧縮機は1つ以上のケーシングにおける多数の圧縮段を含んでもよい。多数のインタークーラーおよび後段クーラーが存在してもよい。各圧縮段は1つ以上のインペラおよび関連するディフューザを含んでもよい。追加の圧縮機/圧縮段が示される圧縮機のうちのいずれかと直列に、または並列に含まれることができ、および/または1つ以上の示される圧縮機は省略されることができる。第1の圧縮機137、第2の圧縮機141、および他の圧縮機のうちのいずれかは、電気モータ、工業ガスタービン、航空転用ガスタービン、蒸気タービンなどの任意の種類ドライバによって駆動されてもよい。圧縮機は、遠心性、軸流、容積式などの任意の種類であってもよい。

10

【0087】

好ましい実施形態では、第1の圧縮機137および第2の圧縮機141が単一の多段の圧縮機であるように、第1の温められた気体冷媒流131は多段圧縮機における側流として導入されてもよい。

20

【0088】

別の実施形態(図示せず)では、第1の温められた気体冷媒流131および第2の温められた気体冷媒流171は、別々の圧縮機において並列で圧縮されてもよく、圧縮された流れは組み合わせられて第2の圧縮された冷媒流142を生成してもよい。

【0089】

冷凍回路を循環する冷媒は、メタンを含む冷媒である。冷媒はまた、窒素、または第1および第2のターボエキスパンダのそれぞれの出口で少なくとも主に気体である第1および第2の膨張した冷たい冷媒流に影響を与えない程度の、当技術で知られており、使用されている任意の他の適切な冷媒成分を備えてもよい。冷却され圧縮された冷媒流158の好ましい成分は、外部冷媒が必要とされないように、天然供給ガスまたはフラッシュガスから得られ得る、少なくとも約85%モル%、より好ましくは約90%モル%、より好ましくは約95%モル%、最も好ましくは約100%モル%のメタンである流れである。冷却され圧縮された冷媒流158の別の好ましい成分は、約25%モル%~65%モル%、より好ましくは約30%モル%~60%モル%の窒素を含む、および約30%モル%~80%モル%、より好ましくは約40%モル%~70%モル%のメタンを含む、窒素メタン混合物である。

30

【0090】

先行技術を超える、図2に示される実施形態の重要な利点は、第1の膨張した冷たい冷媒流166および第2の膨張した冷たい冷媒流174の圧力が著しく異なることである。これは、プロセスの液化および予冷部分に対して、異なる圧力で冷却することの提供を可能にする。より低い冷媒圧力は、液化部分に好ましく、より高い冷媒圧力は、予冷部分に好ましい。温および冷エキスパンダ圧力が著しく異なることを可能にすることによって、プロセスは、より高い全体的な効率をもたらす。その結果、温エキスパンダ164は、主に予冷作用を提供するために使用され、一方で冷エキスパンダ172は、主に液化作用を提供するために使用される。さらに互いに隔離されている冷側を有する第1の熱交換区分(予冷区分)198Aおよび第2の熱交換区分(液化区分)198Bに対してコイル巻き熱交換区分を使用することによって、コイル巻き熱交換区分は、異なる圧力を使用することにかかわらず、天然ガスを予冷および液化するために依然として使用されて、予冷および液化のための冷却作用を提供し得る。これはまた、次いで、コイル巻き熱交換区分を使用して得られるさらなる利点(即ち、小型および高効率)を可能にする。第2の温められ

40

50

た気体冷媒流（液化区分の冷側を出る、温められた冷媒）171が第1の温められた気体冷媒流（予冷区分の冷側を出る、温められた冷媒）131よりも低い圧力であるとき、第2の温められた気体冷媒流171は、圧縮トレインのより低い圧力位置、例えば、冷媒圧縮システム136の最も低い圧力の入口等に送られ、一方で第1の温められた気体冷媒流131は、圧縮トレインのより高い圧力位置に、例えば、冷媒圧縮システム136内への側流として、送られる。このような配置の重要な利点は、先行技術のプロセスよりも高いプロセス効率を有する小型システムをもたらすことである。さらに予冷および液化プロセスをより効率的に行うことによって、結果として、より小さいフラッシュガス熱交換区分126を使用することも可能であり得（液化熱交換区分198Bからの液化された天然ガス流がフラッシングされてより低温のLNG製品を生成するときに生成されるより少ないフラッシュガスに起因して）、それによって全体的な資本コストを低下させることも可能であり得る。

【0091】

この実施形態において、第2の温められた気体冷媒流171は、「冷圧縮」されるか、またはより低い温度で圧縮される。これにもかかわらず、配置は依然として、同一設備数の先行技術と比較してより高いプロセス効率を結果としてもたらす（上記のように）。

【0092】

図3は、図2の変形かつ第2の実施形態を示す。この実施形態においてMCH E 198は、予冷された第1の天然ガス供給流が液化される、第2の熱交換区分198B（図1および2のMCH Eの冷区分と等価）のみを備える。第2の温区分198Aも含有するMCH E 198の代わりに、本実施形態では、第1の天然ガス供給流が予冷される第1の熱交換区分197は、別のユニットに配置され、かつ、熱交換区分を通る複数の別々の通路を画定し、1つ以上の冷媒流が混合せずにその区分の冷側を別々に通過することを可能にする冷側を有する、プレートフィン熱交換区分（図示されるような）または、当技術において知られた任意の他の好適な種類の熱交換区分である。第1の熱交換区分197の入口および出口は、温端、冷端、および/または区分の任意の中間位置に配置されてもよい。

【0093】

前述の実施形態におけるように、第1の天然ガス流195（再循環されたフラッシュガスも含有する）は、第1の熱交換区分197の温側を通過し、そこで冷却されて、予冷された第1の天然ガス流105を生成し、予冷された第1の天然ガス流105は、次いで、第2の熱交換区分198Bの温側を通過し、そこでさらに冷却および液化されて、第1の液化された天然ガス流106を生成する。

【0094】

また前述の実施形態におけるように、第2の膨張した冷たい冷媒流174は、第2の熱交換区分198Bの冷側を通過させられ、そこで温められて、予冷された第1の冷却された天然ガス供給流105を液化するための冷凍および冷却作用を提供して、第1の液化された天然ガス流106を生成する。しかしながら、本実施形態において結果として得られる、第2の熱交換区分198Bの冷側を出る、温められた第2の膨張した冷たい冷媒流171は、圧縮システム136に送られて、そこで圧縮される第2の温められた気体冷媒流を即座に形成しない。

【0095】

むしろ、本実施形態において結果として得られる、第2の熱交換区分198Bの冷側の温端から取り出される温められた第2の膨張した冷たい冷媒171は、次に、第1の熱交換区分197の冷側を通過し、そこでさらに温められて、第1の天然ガス供給流104を予冷し、かつ第2の冷却された気体冷媒流160を冷却するための冷凍および冷却作用を提供する。結果として得られる、さらに温められた第2の膨張した冷たい冷媒流は、第1の熱交換区分197の冷側で取り出され、次いで、第2の温められた気体冷媒流173を形成する。前述のように、第2の温められた気体冷媒流173は、次いで、ノックアウトドラム132に送られて、第2の温められた気体冷媒流（塔頂流134としてノックアウトドラムを出る）が冷媒圧縮システム136に送られ、そこで圧縮される前に、存在し得

10

20

30

40

50

るあらゆる液体をたたき出し得る。

【0096】

第1の膨張した冷たい冷媒流166はまた、第1の熱交換区分197の冷側を通過し、そこでも温められて、第1の天然ガス供給流104を予冷し、かつ第2の冷却された気体冷媒流160を冷却するための冷凍および冷却作用を提供する。しかしながら、第1の膨張した冷たい冷媒流166は、第2の膨張した冷たい冷媒流171が通過する冷側内の通路から、第1の熱交換区分197の冷側内の別々の通路を通過し、それにより、2つの流れが熱交換区分の冷側で混合されない。結果として得られる、第1の熱交換区分197の冷側を出る、温められた第1の膨張した冷たい冷媒は、前述のように、第1の温められた気体冷媒流131を形成し、第1の温められた気体冷媒流131は、次いで、前述のよう

10

【0097】

先行技術を超える、図3に示される実施形態の重要な利点は、繰り返すが、第1の膨張した冷たい冷媒流166および第2の膨張した冷たい冷媒流174の圧力が著しく異なることであり、これは、プロセスの液化および予冷部分に対して、異なる圧力で冷却することの提供を可能にし、それによってより高い全体的な効率をもたらす。図2に示される実施形態におけるように、コイル巻き熱交換区分は依然として、第2の熱交換区分(液化区分)198Bに使用されることができ、それによって小型および効率の点でさらなる利点を提供する。しかしながら、図2に示される実施形態と比較して、本実施形態において第1の熱交換区分(予冷区分)197は、区間を通る複数の別々の通路を画定する冷側を有して使用され、それによって第2の熱交換区分198Bの冷側を出る第2の膨張した冷たい冷媒流171が、第1の熱交換区分197の冷側内でさらに温められることを可能にする。これは、図2に示される実施形態と比較して、本実施形態においてさらなる冷凍作用が第2の膨張した冷たい冷媒流171から回収され得ることを意味し、結果として得られる、第2の温められた気体冷媒流173は、冷圧縮される必要がなく、これは、さらに良く改善されるプロセスの効率をもたらす。

20

【0098】

図4は、第3の実施形態かつ図2の別の変形を示す。図2に示される配置と比較して、本実施形態において結果として得られる、第2の熱交換区分198Bの冷側を出る、温められた第2の膨張した冷たい冷媒流171は、圧縮システム136に送られて、その中で圧縮される第2の温められた気体冷媒流を即座に形成せず、したがって冷圧縮されない。その代わりに、本実施形態において冷凍回路は、第3の熱交換区分196をさらに備え、さらなる冷凍作用が、温められた第2の膨張した冷たい冷媒流171から、その流れを第3の熱交換区分196の冷側に通過させ、そこでその流れをさらに温めることによって抽出されて、第2の温められた気体冷媒流173を生成し、第2の温められた気体冷媒流173は、次いで、前述のように圧縮システム136に送られる(任意にロックアウトドラムを介して)。第3の熱交換区分196は、例えば、コイル巻き区分、プレートフィン区分(図2に示されるような)またはシェルアンドチューブ区分等の、任意の適切な熱交換器タイプの熱交換区分であり得る。

30

【0099】

図4に示される配置において、第3の熱交換区分196内の温められた第2の膨張した冷たい冷媒流171から抽出されたさらなる冷凍作用は、第2の冷却された気体冷媒流160の一部分107を予冷するための冷却作用を提供するために使用される。より具体的には、第2の冷却された気体冷媒流160は、2つの部分、即ち第1の部分161および第2の部分107に分けられる。第1の部分は、第1の熱交換区分198Aの温側を通過し、そこで冷却されて、さらに冷却された第2の冷却された気体冷媒流168の第1の部分を生成し、第1の熱交換区分198Aにおける冷凍および冷却作用は、第1の熱交換区分198Aの温側内で温められる第1の膨張した冷たい冷媒流166によって提供されて、前述のように、第1の温められた気体冷媒流131を生成する。

40

【0100】

50

第2の冷却された気体冷媒流の区分部分107は、第3の熱交換区分196の温側を通過し、そこで冷却されて、さらに冷却された第2の冷却された気体冷媒流111の第2の部分111を生成し、第2の部分111は、次いで、第1の部分168と組み合わせられて、さらに冷却された第2の冷却された気体冷媒流を提供し、さらに冷却された第2の冷却された気体冷媒流は、次いで、第2のターボエキスパンダ172内で膨張されて、前述のように、第2の膨張した冷たい冷媒流174を提供する。好ましい実施形態では、第2の冷却された気体冷媒流の第2の部分107は、第2の冷却された気体冷媒流160の約50モル%～95モル%である。

【0101】

代替的な実施形態では、第2の冷却された気体冷媒流の部分107を冷却するために使用される代わりに、第3の熱交換区分196が、天然ガス流を冷却するために代わりに使用されてもよい。例えば、第1の天然ガス供給流195は、2つの流れに分割され得、第1の流れは、前述のように第1の熱交換区分198Aの温側を通過させられ、そこで冷却され、第2の流れは、第3の熱交換区分196の温側を通過させられ、そこで冷却され、第1および第3の熱交換区分を出る、予冷された天然ガス流は、再度組み合わせられ、かつ混合されて、予冷された第1の天然ガス流105を形成し、予冷された第1の天然ガス流105は、次いで、前述のように第2の熱交換区分198B内でさらに冷却され液化される。さらに別の変形では、第3の熱交換区分は、区分を通る1つよりも多い別々の通路を画定する温側を有することができ、かつ第2の冷却された気体冷媒流の一部分107および天然ガス流の両方を冷却するために使用されることができる。

【0102】

図4に示される実施形態は、先行技術より高いプロセス効率を含む、図3に示される実施形態のすべての利益を有する。加えて、1つのみの冷媒流（第1の膨張した冷たい冷媒流166）が第1の熱交換区分198Aの冷側を通過するため、コイル巻き熱交換区分は、この区分に対して使用され得る。しかしながら、この配置は、第3の熱交換区分196の形態での追加の機器の使用を必要とする。

【0103】

図5は、第4の実施形態かつ図4の変形を示す。この実施形態において第1の熱交換区分198Aおよび第2の熱交換区分198Bは、繰り返すが、好ましくは、本実施形態においてMCH E 198の同一共有外殻ケーシング内に収容されているコイル巻き熱交換区分であり、第1の熱交換区分198Aは、例えば、MCH Eの温区分（管束）を表し、第2の熱交換区分198Bは、例えば、MCH Eの冷区分（管束）を表す。しかしながら、本実施形態においてMCH E 198は、第1の熱交換区分198Aの冷側（外殻側）を第2の熱交換区分198Bの冷側（外殻側）から分離するヘッド118を、もはや含まず、かつ第1の熱交換区分198Aに対する冷凍作用は、第1の膨張した冷たい冷媒流166によって、もはや提供されない。代わりに、第2の熱交換区分198Bの冷側（外殻側）の温端を出る、温められた第2の膨張した冷たい冷媒流は、第1の熱交換区分198Aの冷側（外殻側）に流れ込み、そこを通過し、かつそこでさらに温められて、第1の熱交換区分198A内の冷却作用を提供し、温められた第2の膨張した冷たい冷媒流は、その区分198A内でさらに温められて、第2の温められた気体冷媒流173を生成し、第2の温められた気体冷媒流173は、次いで、前述のように、圧縮システム136に送られる（任意にノックアウトドラムを介して）。

【0104】

同様に、図5に示される実施形態において、第3の熱交換区分196のための冷凍作用は、第2の熱交換区分198Bの冷側（外殻側）の温端を出る、温められた第2の膨張した冷たい冷媒流によって、もはや提供されない。代わりに、第1の膨張した冷たい冷媒流166は、第3の熱交換区分196の冷側を通過し、そこで温められて、第3の熱交換区分196内の冷却作用を提供し、第1の膨張した冷たい冷媒流166は、その区分196内で温められて、第1の温められた気体冷媒流131を生成し、第1の温められた気体冷媒流131は、次いで、前述のように、冷媒圧縮システム136に送られ、そこで圧縮さ

10

20

30

40

50

れる。

【0105】

図5による好ましい実施形態において、第2の冷却された気体冷媒流の第2の部分107は、第2の冷却された気体冷媒流160の約20モル%～60モル%である。

【0106】

代替的に、かつ図4に関して上記でも説明されるように、図5に示される実施形態の変形では、第3の熱交換区分196は、第2の冷却された気体冷媒流の一部分107を冷却するために使用される代わりに、天然ガス供給流を冷却するために使用されてもよい。さらに別の変形では（繰り返すが、図4に関連して上述したように）、第3の熱交換区分196は、その区分を通る1つよりも多い別々の通路を画定する温側を有することができ、かつ第2の冷却された気体冷媒流の一部分107および天然ガス流の両方を冷却するために使用されることができる。

10

【0107】

図5に示される実施形態は、先行技術より高いプロセス効率を含む、図3に示される実施形態のすべての利益を有する。加えて、1つのみの冷媒流（温められた第2の膨張した冷たい冷媒流）が第1の熱交換区分198Aの冷側を通過するため、コイル巻き熱交換区分は、この区分に対して使用され得る。しかしながら、この配置は、第3の熱交換区分196の形態での追加の機器の使用を必要とする。図4に示される実施形態と比較して、図5の実施形態は、ヘッド118が必要とされず、かつ第2の熱交換区分198Bの温端におけるMCH E 198の外殻側からいかなる冷媒流も抽出される必要がないため、より単純であり、より単純な熱交換器設計を結果としてもたらす。

20

【0108】

図2～5は、循環冷媒の2段階の膨張（第1および第2のターボエキスパンダを介して）、および第1の液化された天然ガス流106をフラッシングするための1つのフラッシュ段（J-T弁108およびエンドフラッシュドラム120）を示すが、さらなる段階の膨張が、追加のターボエキスパンダを付加することによって利用されてもよく、および/または追加のフラッシュ段が、LNG流124をさらに降圧させ、かつさらに低下した圧力段階で1つ以上の追加のフラッシュガス流を生成することによって利用されてもよい（結果として得られる追加のフラッシュガス流は、既存のフラッシュガス熱交換区分および/または1つ以上の追加のフラッシュガス熱交換区分内で温められる）。追加のフラッシュ段階は、増加した資本コストおよび複雑性においてプロセス効率を向上する。

30

【0109】

図2～5は、閉ループ冷凍システムの使用を示したが、開ループシステムもまた使用されてもよく、冷凍作用は、供給天然ガスまたはフラッシュガスから得られる。

【0110】

本明細書で提示される上記で説明された実施形態では、天然ガスを液化する、かつ予冷するための冷却作用のすべてが、天然ガス供給流の形態で現場において入手可能である、メタンを含む冷媒によって提供されるため、外部の冷媒に対する必要性は最小限にされることができる。効率をさらに向上するために冷媒内に存在するいくつかの窒素も有することが所望される環境において、かかる窒素は、天然ガス供給流内に既に存在し得、したがって天然ガス供給流から現場で入手可能であり得る、および/または空気から現場で生成され得る。

40

【0111】

効率をさらに高めるために、上記で説明された冷凍サイクルは、異なる圧力で冷媒の複数の冷流も利用し、第1のターボエキスパンダによって生成される第1の冷たい気体（または主に気体）冷媒流は、天然ガスを予冷するための冷却作用を提供するために使用され、第2のターボエキスパンダによって生成される第2の冷たい気体（または主に気体）冷媒流は、天然ガスを液化するための冷凍作用を提供するために使用される。結果として得られる、液化された天然ガスは、次いで、要求温度のLNG製品、および天然ガス供給内に再循環されるフラッシュガスを生成するために、少なくとも1つの圧力低下装置および

50

少なくとも1つの気液分離装置（好ましくは、LNG製品を現場に一時的に貯蔵するために使用される任意の最終LNG貯蔵タンクに加えて）を備えるエンドフラッシュシステム内でフラッシングされる。この配置はまた、冷媒の二相流を最小化または排除し、かつ二相冷媒の分離の必要性を回避する。

【0112】

本明細書で提示されるすべての実施形態では、熱交換区分からの入口および出口の流れは、冷却または過熱プロセスを途中まで通って取り出された側流であってもよい。例えば、図3において、温められた第2の膨張した冷たい冷媒流171および/または第1の膨張した冷たい冷媒流166は、第1の熱交換区分197内の側流であってもよい。さらに、本明細書で提示されるすべての実施形態において、任意の数の気相膨張段が利用されてもよい。

10

【実施例】

【0113】

本明細書で説明された液化システムのいずれかおよびすべての成分は、従来技術によって、または追加の製造を介して製造されてもよい。

例1

【0114】

この例では、図3において説明され、示される天然ガス供給流を液化する方法が想定された。結果は表1に示され、図3の参照符号が使用される。

20

【0115】

【表1】

表1:

参照番号	温度、華氏	温度、摂氏	圧力、psia	圧力、bara	流れ、lbmol/時	流れ、kgmol/時	蒸気率
104	108	42	814	56	16,000	7,257	1
105	-29	-34	809	56	20,893	9,477	1
106	-175	-115	759	52	20,893	9,477	0
125	-242	-152	41	3	7,474	3,390	1
191	102	39	814	56	7,474	3,390	1
192	108	42	814	56	2,581	1,171	1
193	-237	-149	814	56	2,581	1,171	0
131	96	35	410	28	37,697	17,099	1
158	102	39	1250	86	88,413	40,103	1
160	102	39	1250	86	50,716	23,004	1
166	-23	-31	418	29	37,697	17,099	1
168	-29	-34	1243	86	50,716	23,004	1
173	96	35	183	13	50,716	23,004	1
174	-179	-117	195	13	50,716	23,004	0.92

30

40

【0116】

本例において、圧縮および冷却された気体冷媒流158は、メタンである。第1の膨張した冷たい冷媒流166の圧力は、第2の膨張した冷たい冷媒流174の圧力よりも高い。比較して、図1に示される先行技術の配置に対して、第1の膨張した冷たい冷媒流166、第2の膨張した冷たい冷媒流174は、約19bara(279psia)の同様の圧力である。図3の実施形態におけるこの圧力の違いは、図1(従来技術)の効率と比べ

50

て、約 5 % だけ図 3 の実施形態のプロセス効率を上げ、両方の場合で冷媒として純粋なメタンを使用している。

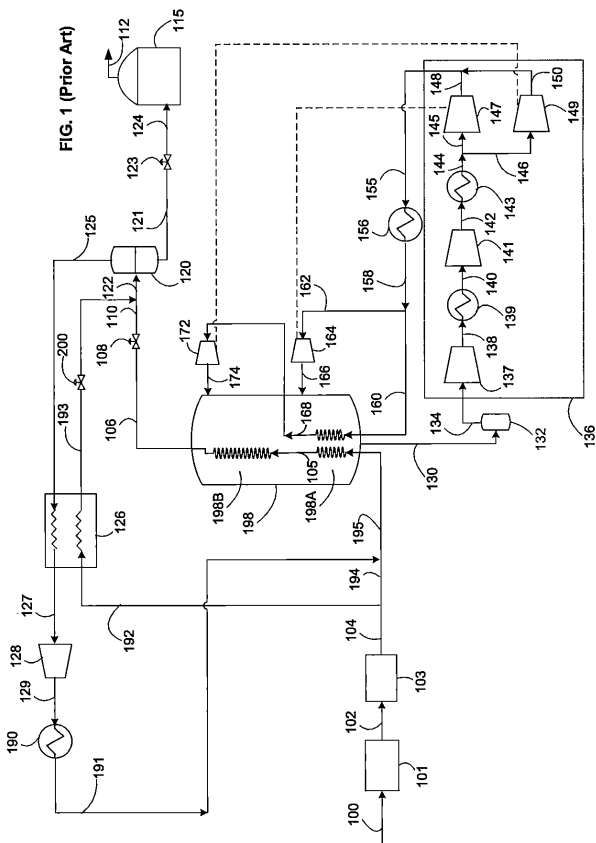
【 0 1 1 7 】

本例は、図 4 および図 5 の実施形態に適用可能である。図 4 の実施形態を参照すると、第 2 の冷却された気体冷媒流の第 2 の部分 1 0 7 は、第 2 の冷却された気体冷媒流 1 6 0 の約 8 5 % である。図 5 の実施形態を参照すると、第 2 の冷却された気体冷媒流の第 2 の部分 1 0 7 は、第 2 の冷却された気体冷媒流 1 6 0 の約 5 0 % である。

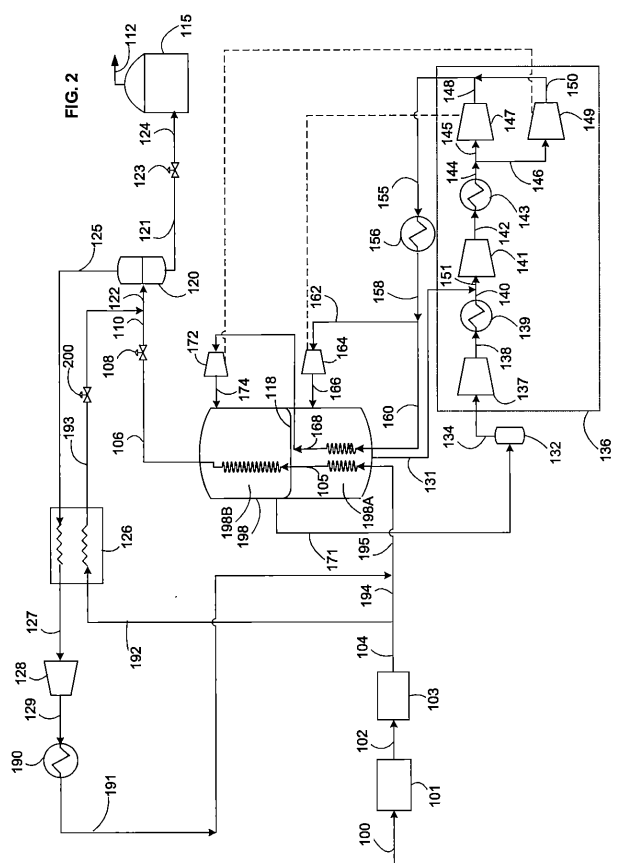
【 0 1 1 8 】

本発明は好ましい実施形態を参照して上記で説明された詳細に限定されないが、数々の変更および変形が、下記の特許請求の範囲に定義された本発明の精神および範囲から逸脱せずに行われ得ることが理解されるであろう。

【 図 1 】



【 図 2 】



フロントページの続き

(74)代理人 100123582

弁理士 三橋 真二

(74)代理人 100195213

弁理士 木村 健治

(74)代理人 100173107

弁理士 胡田 尚則

(72)発明者 ゴウリ クリシュナムルティ

アメリカ合衆国, ペンシルベニア 1 8 9 6 0, セラーズビル, マリーガン ドライブ 4 5 6

(72)発明者 マーク ジュリアン ロバーツ

アメリカ合衆国, ペンシルベニア 1 9 5 2 9, ケンプトン, カナリス ドライブ 8 8 6 6

Fターム(参考) 4D047 AA10 BA06 CA04 CA11 CA16 CA17 DA17 DB05

【外国語明細書】

2019190819000001.pdf