

(19)日本国特許庁(JP)

(12)特許公報(B2)

(11)特許番号  
特許第7326483号  
(P7326483)

(45)発行日 令和5年8月15日(2023.8.15)

(24)登録日 令和5年8月4日(2023.8.4)

(51)国際特許分類 F I  
F 2 5 J 1/00 (2006.01) F 2 5 J 1/00 B

請求項の数 10 (全42頁)

(21)出願番号	特願2021-570518(P2021-570518)	(73)特許権者	390023630 エクソンモービル・テクノロジー・アンド・エンジニアリング・カンパニー ExxonMobil Technology and Engineering Company アメリカ合衆国, ニュージャージー州 08801-0900, アナンデイル, ルート 22 イースト, 1545, ピー .オー.ボックス 900
(86)(22)出願日	令和2年4月17日(2020.4.17)	(74)代理人	100094569 弁理士 田中 伸一郎
(65)公表番号	特表2022-534587(P2022-534587 A)	(74)代理人	100103610 弁理士 吉 田 和彦
(43)公表日	令和4年8月2日(2022.8.2)	(74)代理人	100109070
(86)国際出願番号	PCT/US2020/028719		
(87)国際公開番号	WO2021/055020		
(87)国際公開日	令和3年3月25日(2021.3.25)		
審査請求日	令和3年11月26日(2021.11.26)		
(31)優先権主張番号	62/902,459		
(32)優先日	令和1年9月19日(2019.9.19)		
(33)優先権主張国・地域又は機関	米国(US)		

最終頁に続く

(54)【発明の名称】 高圧圧縮及び膨張による天然ガスの前処理及び予冷

(57)【特許請求の範囲】

【請求項1】

天然ガスストリームから液化天然ガス(LNG)を生産する方法であって、  
前記天然ガスストリームの少なくとも一部を第1の熱交換器内で冷却して、冷却された天然ガスストリームを生成すること；  
前記冷却された天然ガスストリームと前記天然ガスストリームの残りの全ての部分を混ぜ合わせて、混合天然ガスストリームを生成すること；  
前記混合天然ガスストリームから重質炭化水素を除去し、それによって分離天然ガスストリームを生成すること；  
前記分離天然ガスストリームを前記第1の熱交換器内で部分的に凝縮し、それによって部分的に凝縮された天然ガスストリームを生成すること；  
前記部分的に凝縮された天然ガスストリームから液体を分離し、それによって冷たい前処理ガスストリーム及び液体ストリームを生成すること；  
前記冷たい前処理ガスストリームを前記第1の熱交換器内で温めて、前処理天然ガスストリームを生成すること；  
前記前処理天然ガスストリームを少なくとも1つの圧縮機内で、少なくとも1,500 psiaの圧力まで圧縮して、圧縮天然ガスストリームを形成すること；  
前記圧縮天然ガスストリームを冷却して、冷却された圧縮天然ガスストリームを形成すること；  
少なくとも1つのワーク生成天然ガスエキスパンダ内で、2,000 psia未満であ

10

20

り、かつ前記少なくとも1つの圧縮機が前記前処理天然ガスストリームを圧縮する圧力以下である圧力まで前記冷却された圧縮天然ガスストリームを膨張させ、それによってチルド天然ガスストリームを形成すること；

前記チルド天然ガスストリームを冷媒ストリームと非冷媒ストリームに分けること；

前記冷媒ストリームを再循環させて、前記第1の熱交換器内で、少なくとも、前記天然ガスストリームの前記少なくとも一部、前記分離天然ガスストリーム、及び前記冷たい前処理ガスストリームを含む1以上のプロセスストリームと熱交換させ、それによって温められた冷媒ストリームを生成すること；

前記温められた冷媒ストリームと前記非冷媒ストリームを混ぜ合わせて、チルド前処理天然ガスストリームを形成すること；及び

前記チルド前処理天然ガスストリームを液化してLNGを形成することを含む、前記方法。

#### 【請求項2】

前記重質炭化水素が、スクラブカラム内で前記混合天然ガスストリームから分離され、さらに、

前記液体ストリームをカラム還流ストリームとして前記スクラブカラムへ方向づけることを含む、請求項1に記載の方法。

#### 【請求項3】

さらに、

前記スクラブカラムから液体を引き出すこと；

前記液体をリボイラー内で加熱してストリップングガスを生成すること；及び

前記ストリップングガスを前記スクラブカラムの下部に挿入することを含む、請求項2に記載の方法。

#### 【請求項4】

前記少なくとも1つの圧縮機が、3,000psia超の圧力まで前記天然ガスストリームを圧縮し、前記ワーク生成天然ガスエキスパンダが、前記冷却された圧縮天然ガスストリームを2,000psia未満の圧力まで膨張させ、

前記少なくとも1つの圧縮機が、少なくとも2つの並列に配置された圧縮機を含み、前記少なくとも2つの並列に配置された圧縮機のうちの1つが、前記ワーク生成天然ガスエキスパンダによって駆動される、

請求項1～3のいずれか1項に記載の方法。

#### 【請求項5】

さらに、

前記冷媒ストリームの一部の圧力及び温度を下げて、さらに冷却された冷媒ストリームを生成すること；

前記第1の熱交換器を通して前記1以上のプロセスストリームを冷却し、それによって温められたサイドストリームを生成するように、前記さらに冷却された冷媒ストリームを方向づけること；及び

前記温められたサイドストリームを前記前処理天然ガスストリームと混ぜ合わせることを含む、請求項1～4のいずれか1項に記載の方法。

#### 【請求項6】

前記天然ガスストリームの前記少なくとも一部が前記天然ガスストリームの全てを含む、請求項1～5のいずれか1項に記載の方法。

#### 【請求項7】

天然ガスストリームの液化装置であって、

前記天然ガスストリームの少なくとも一部を冷却して、冷却された天然ガスストリームを生成する第1の熱交換器；

前記冷却された天然ガスストリームと混ぜ合わせた前記天然ガスストリームの残りの部分から重質炭化水素を除去し、それによって分離天然ガスストリームを生成するように構成された第1の分離デバイス、ここで、前記第1の熱交換器は、前記分離天然ガスストリ

10

20

30

40

50

ームを部分的に凝縮して、部分的に凝縮された天然ガスストリームを形成する；

前記部分的に凝縮された天然ガスストリームから液体を分離し、それによって冷たい前処理ガスストリーム及び液体ストリームを生成する第2の分離デバイス、ここで、前記冷たい前処理ガスストリームは、前記第1の熱交換器内で温められて、前処理天然ガスストリームを生成する；

1, 500 p s i a 超の圧力まで前記前処理天然ガスストリームを圧縮し、それによって圧縮天然ガスストリームを形成するように構成された少なくとも1つの圧縮機；

前記圧縮天然ガスストリームを冷却し、それによって冷却された圧縮天然ガスストリームを形成するように構成された冷却要素；

2, 000 p s i a 未満であり、かつ前記少なくとも1つの圧縮機が前記前処理天然ガスストリームを圧縮する圧力以下である圧力まで前記冷却された圧縮天然ガスストリームを膨張させ、それによってチルド天然ガスストリームを形成するように構成された少なくとも1つのワーク生成エキスパンダ；

ここで、前記チルド天然ガスストリームは、冷媒ストリームと非冷媒ストリームに分けられ、前記冷媒ストリームは、再循環されて前記第1の熱交換器内で、前記天然ガスストリームの前記一部、前記分離天然ガスストリーム、及び前記冷たい前処理天然ガスストリームを含む1以上のプロセスストリームと熱交換し、それによって温められた冷媒ストリームを生成し、前記温められた冷媒ストリームと前記前処理天然ガスストリームが混ぜ合わせられてチルド前処理ガスストリームを形成する；及び

前記チルド前処理ガスストリームを液化するように構成された少なくとも1つの液化ユニットを含む、前記装置。

#### 【請求項8】

前記第1の分離デバイスがスクラブカラムであり、前記液体ストリームがカラム還流ストリームとして前記スクラブカラムへ方向づけられ、

前記少なくとも1つの圧縮機が、少なくとも2つの並列に配置された圧縮機を含み、前記少なくとも2つの並列に配置された圧縮機の1つが、前記少なくとも1つのワーク生成エキスパンダによって駆動される、

請求項7に記載の装置。

#### 【請求項9】

天然ガスストリームから液化天然ガス（LNG）を生産する方法であって、

前記天然ガスストリームの一部を第1の熱交換器内で冷却して、冷却された天然ガスストリームを生成すること；

前記冷却された天然ガスストリームと前記天然ガスストリームの残りの部分を混ぜ合わせて、混合天然ガスストリームを生成すること；

前記混合天然ガスストリームから重質炭化水素を除去し、それによって分離天然ガスストリームを生成すること；

前記分離天然ガスストリームを前記第1の熱交換器内で部分的に凝縮し、それによって部分的に凝縮された天然ガスストリームを生成すること；

前記部分的に凝縮された天然ガスストリームから液体を分離し、それによって冷たい前処理ガスストリーム及び液体ストリームを生成すること；

前記冷たい前処理ガスストリームを前記第1の熱交換器内で温めて、前処理天然ガスストリームを生成すること；

前記前処理天然ガスストリームを少なくとも1つの圧縮機内で少なくとも1, 500 p s i a の圧力まで圧縮して、圧縮天然ガスストリームを形成すること；

前記圧縮天然ガスストリームを冷却して、冷却された圧縮天然ガスストリームを形成すること；

少なくとも1つのワーク生成天然ガスエキスパンダ内で、2, 000 p s i a 未満であり、かつ前記少なくとも1つの圧縮機が前記前処理天然ガスストリームを圧縮する圧力以下である圧力まで前記冷却された圧縮天然ガスストリームを膨張させ、それによってチル

10

20

30

40

50

ド天然ガスストリームを形成すること；

前記チルド天然ガスストリームを再循環させ、前記天然ガスストリームの前記一部、前記分離天然ガスストリーム、及び前記冷たい前処理ガスストリームを含む1以上のプロセスストリームとの熱交換によって、温められた冷媒ストリームを生成すること；及び

前記温められた冷媒ストリームを液化してLNGを形成することを含む、前記方法。

【請求項10】

天然ガスストリームの液化用装置であって、

前記天然ガスストリームの一部を冷却して、冷却された天然ガスストリームを生成する第1の熱交換器；

前記冷却された天然ガスストリームと混ぜ合わせた前記天然ガスストリームから重質炭化水素を除去し、それによって分離天然ガスストリームを生成するように構成された第1の分離デバイス、ここで、前記第1の熱交換器は、前記分離天然ガスストリームを部分的に凝縮して、部分的に凝縮された天然ガスストリームを形成する；

前記部分的に凝縮された天然ガスストリームから液体を分離し、それによって冷たい前処理ガスストリーム及び液体ストリームを生成する第2の分離デバイス、ここで、前記冷たい前処理ガスストリームは、前記第1の熱交換器内で温められて前処理天然ガスストリームを生成する；

1,500psia超の圧力まで前記前処理天然ガスストリームを圧縮し、それによって圧縮天然ガスストリームを形成するように構成された少なくとも1つの圧縮機；

前記圧縮天然ガスストリームを冷却し、それによって冷却された圧縮天然ガスストリームを形成するように構成された冷却要素；

2,000psia未満であり、かつ前記少なくとも1つの圧縮機が前記前処理天然ガスストリームを圧縮する圧力以下である圧力まで前記冷却された圧縮天然ガスストリームを膨張させ、それによってチルド天然ガスストリームを形成するように構成された少なくとも1つのワーク生成エキスパンダ；

ここで、前記チルド天然ガスストリームは、再循環されて、前記第1の熱交換器内で、前記天然ガスストリームの前記一部、前記分離天然ガスストリーム、及び前記冷たい前処理ガスストリームを含む1以上のプロセスストリームと熱交換し、それによって温められた冷媒ストリームを生成する；及び

前記温められた冷媒ストリームを液化し、LNGを形成するように構成された少なくとも1つの液化ユニットを含む、前記装置。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

関連出願の相互参照

本出願は、発明の名称「高圧圧縮及び膨張による天然ガスの前処理及び予冷」で2019年9月19日に提出された米国仮特許出願第62/902459号の優先権の利益を主張する。

【0002】

発明の分野

本発明は、液化天然ガス(LNG)を形成するための天然ガスの液化、より詳細には、資本設備の建設及び/又は保守、及び/又は従来のLNGプラントの環境影響が有害である可能性のある遠隔又は敏感な区域でのLNGの生産に関する。

【背景技術】

【0003】

背景

LNG生産は、豊富な供給量の天然ガスがある場所から天然ガスに対する強い需要のある離れた場所に天然ガスを供給するための急成長している手段である。従来のLNG生産

10

20

30

40

50

サイクルは、a) 水、硫黄化合物及び二酸化炭素等の混入物を除去するための天然ガス源の初期処理、b) 自己冷凍、外部冷凍、リーンオイル等を含めた可能な種々の方法によるいくつかの重質炭化水素ガス、例えばプロパン、ブタン、ペンタン等の分離；c) 大気圧近傍及び約 - 160 で液化天然ガスを形成するための実質的に外部冷凍による天然ガスの冷凍；d) この目的で設計された船舶又はタンカーでのLNG生産物の市場への輸送；e) 再ガス化プラントにおける天然ガス消費者に分配可能な加圧天然ガスへのLNGの再加圧及び再ガス化を含む。従来のLNGサイクルのステップ(c)は通常、かなりの炭素その他の排出物を排出する大型ガスタービンドライバによって動力が供給されることが多い大型冷凍圧縮機の使用を必要とする。液化プラントの一部として、数十億という米ドルの大規模な設備投資及び広範なインフラストラクチャーが必要とされる。従来のLNG

10

#### 【0004】

LNG生産は一般的に周知であるが、技術改善は、LNG産業におけるその指導的地位の維持を目指すので、未だにLNG生産者に有意な機会を与えることができる。例えば、フローティングLNG (FLNG) は、LNGを生産するための比較的新しい技術オプションである。この技術は、バージ又は船舶等のフローティング構造体上にガス処理及び液化設備を建設することを必要とする。FLNGは、陸へのガスパイプラインを建設することが経済的に実行できない場合に海洋標準ガスを収益化するための技術的解決策である。FLNGは、遠隔的、環境に配慮した及び/又は政治的に困難だがやりがいのある領域にある陸上及び近海ガス分野のためにもますます検討されている。この技術は、生産拠点での環境フットプリントが減少するという点で従来の陸上LNGを超える特定の利点を有する。LNG設備の大半が造船所にてより低い賃金率及び少ない遂行リスクで建設されるので、この技術はプロジェクトの成果をより早くかつ低コストで出すこともできる。

20

#### 【0005】

FLNGは、従来の陸上LNGを超えるいくつかの利点を有するが、この技術の適用には重大な技術的課題が残っている。例えば、FLNG構造は、多くの場合陸上LNGプラントに利用できる4分の1未満である面積又はスペースで同レベルのガス処理及び液化を可能にしなければならない。この理由のため、液化設備のフットプリントを減らしながら、その能力を維持し、それによってプロジェクト全体のコストを下げる技術を開発する必要がある。FLNGプロジェクトに使用するためにいくつかの液化技術が提案されている。指導的技術としては、単一混合冷媒 (SMR) プロセス、二元混合冷媒 (DMR) プロセス、及びエキスパンダベース (又は膨張) プロセスがある。

30

#### 【0006】

DMRプロセスとは対照的に、SMRプロセスは、完全液化プロセスと関係がある全ての機器及び容積を単一FLNGモジュール内で適合させられるという利点を有する。SMR液化モジュールは、完全SMRトレインとしてFLNG構造体の上側に置かれる。この「LNGインボックス (LNG-in-a-Box)」概念は、FLNG構造体が建設される場所とは異なる場所でのSMRトレインの試験及び試運転を可能にするのでFLNGプロジェクト遂行にとって好ましい。それは、賃金率が従来の製造所の賃金率より高い傾向がある造船所における労働時間を減らすので、労働コストの削減をも可能にする。SMRプロセスは、他の混合冷媒プロセスに比べて、相対的に効率がよく、単純かつコンパクトな冷媒プロセスであるという追加利点を有する。さらに、SMR液化プロセスは、エキスパンダベース液化プロセスより典型的に15%~20%効率が良い。

40

#### 【0007】

FLNGプロジェクトにおけるLNG液化のためのSMRプロセスの選択はその利点を有するが、SMRプロセスにはいくつかの欠点がある。例えば、必要とされるプロパン等の可燃性冷媒の使用及び貯蔵は、FLNGに関するロスプリベンション (loss pr

50

evention)問題を顕著に増やす。SMRプロセスは能力にも限界があり、所望のLNG生産量に達するのに必要なトレイン数を増やす。また、重質炭化水素を除去し、冷媒構成に必要な天然ガス液を回収するために、スクラブカラムを用いることが多い。図1は、単純SMRプロセスとスクラブカラム104を統合した典型的なLNG液化システム100である。SMR冷媒ループ106が1つ以上の熱交換器108a、108b、108c内で供給ガストリーム102を冷却及び液化する。詳細には、SMR冷媒ループ106は、供給ガストリーム102がスクラブカラム104に送られる前にそれを冷却する。重質炭化水素がスクラブカラム104の下部ストリーム110から除去され、冷却された蒸気ストリーム112がスクラブカラム104の上部から除去される。冷却された蒸気ストリーム112は次に熱交換器108b内でSMR冷媒ループ106との熱交換によって冷却され、部分的に凝縮される。冷却された蒸気ストリームは、分離容器114に送られ、そこで、冷却された蒸気ストリームの凝縮部分は液体還流ストリーム116としてスクラブカラムに戻され、冷却された蒸気ストリームの流蒸気部分118は熱交換器108c内でSMR冷媒ループ106との熱交換によって液化される。LNGストリーム120は、貯蔵及び/又は輸送のためにLNG液化システム100から出る。

#### 【0008】

図1に示し、上述したもののような統合スクラブカラムデザインは、一般的に重質炭化水素除去の最低コストの選択肢である。しかしながら、このデザインは、SMRトレインの冷凍の一部が熱交換器108b内で利用されてカラム還流をもたらすのでトレイン能力を減じるという欠点を有する。それは、SMRトレインの機器数を増やすという欠点をも有し、単一FLNGモジュール内にSMRトレインを設置する能力を制限することがある。さらに、1.5MTA超のFLNG用途には、複数のSMRトレインが必要であり、各トレインはそれ自体の統合スクラブカラムを有する。これら及び他の理由のため、相当量の上側スペース及びウエイトがSMRトレインのために必要である。上側スペース及びウエイトはFLNGプロジェクトコストにとって重大な動因なので、上側スペース、ウエイト及び複雑さをさらに低減させ、ひいてはプロジェクト経済を改善するためにSMR液化プロセスを改善する必要性が残っている。トレイン能力を高めながら、高生産性FLNG用途のための全体的な機器数をも減らすことができる重質炭化水素除去プロセスを開発するさらなる必要性が残っている。

#### 【0009】

エキスパンダベースプロセスは、それをFLNGプロジェクトにうまく適合させるいくつかの利点を有する。最も有意な利点は、この技術が外部炭化水素冷媒を必要としない液化を提供することである。プロパン貯蔵等の液体炭化水素冷媒在庫を排除すると、FLNGプロジェクトに関する安全上の懸念を著しく減らす。混合冷媒プロセスと比べたエキスパンダベースプロセスのさらなる利点は、主冷媒がほとんど気相内に留まるのでエキスパンダベースプロセスは海洋運動に対して感受性が低いことである。しかしながら、年間2百万トン(MTA)超のLNG生産を伴うFLNGプロジェクトへのエキスパンダベースプロセスの適用は、混合冷媒プロセスの使用より魅力的でないことが証明されている。エキスパンダベースプロセストレインの能力は典型的に1.5MTA未満である。対照的に、既知の二元混合冷媒プロセスのトレインのような混合冷媒プロセストレインは、5MTA超のトレイン能力を有する可能性がある。エキスパンダベースプロセストレインのサイズは、プロセス全体を通してその冷媒がほとんど蒸気状態のままであり、冷媒がその顕熱によってエネルギーを吸収するので制限される。これらの理由から、プロセス全体を通して冷媒の体積流量が多く、熱交換器及び配管のサイズは、混合冷媒プロセスのものより比例して大きい。さらに、エキスパンダベースプロセストレインの容量が増すにつれてコンパンダの馬力サイズの限界が並列回転機械類をもたらす。エキスパンダベースプロセスを利用するFLNGプロジェクトの生産率は、複数のエキスパンダベーストレインが許容されれば2MTA超になり得る。例えば、6MTAのFLNGプロジェクトでは、所要生産量を達成するためには6以上の並列エキスパンダベースプロセストレインで十分な可能性がある。しかしながら、複数のエキスパンダトレインのせいで機器数、複雑さ及びコスト

10

20

30

40

50

全てが増大する。さらに、混合冷媒プロセスは1つ又は2つのトレインで所要生産率を達成できるのにエキスパンダベースプロセスでは複数トレインが必要とされる場合、混合冷媒プロセスに比べてエキスパンダベースプロセスの想定されるプロセスの単純性が疑問を持ち始める。統合スクラップカラムデザインを用いて、エキスパンダベース液化プロセスのために重質炭化水素を除去することもできる。その使用の利点及び欠点は、SMRプロセスのものと同様である。統合スクラップカラムデザインの使用は、供給ガスのクリコンデンバール(c r i c o n d e n b a r)未満の値まで液化圧力を制限する。この事実は、そのプロセス効率が混合冷媒プロセスより低い液化圧力によってさらに悪影響を受けるので、エキスパンダベースプロセスの特定の欠点である。このような理由で、エキスパンダベースプロセスの利点を有する高LNG生産能力のFLNG液化プロセスを開発する必要がある。ガス処理中に船舶運動があるという課題をより良く取り扱うことができるFLNG技術の解決策を開発する必要がある。従来技術に伴う効率及び生産量低減を排除することによって、エキスパンダベースプロセスにより良く適した重質炭化水素除去プロセスを開発するさらなる必要性が残っている。

10

## 【0010】

米国特許第6,412,302号は、2つの独立した閉冷凍ループを用いて供給ガスを冷却してLNGを形成する供給ガスエキスパンダベースプロセスについて述べている。一実施形態では、第1の閉冷凍ループが冷媒として供給ガス又は供給ガスの成分を使用する。第2の閉冷凍ループ用の冷媒としては窒素ガスが用いられる。この技術は、二重ループ窒素エキスパンダベースプロセスより小さい機器及び上側スペースを必要とする。例えば、冷媒の低圧圧縮機への体積流量は、この技術では二重ループ窒素エキスパンダベースプロセスに比べて20~50%少なくてもよい。しかしながら、この技術は、依然として1.5MTA未満の能力に限定されている。

20

## 【0011】

米国特許第8,616,012号は、閉冷凍ループ内で冷媒として供給ガスを用いる供給ガスエキスパンダベースプロセスについて述べている。この閉冷凍ループ内では、冷媒は、1,500psia(10,340kPa)以上、さらに好ましくは2,500psia(17,240kPa)超の圧力まで圧縮される。次に冷媒は極低温に達するまで冷却され、膨張させられる。この冷却された冷媒を熱交換器内で用いて、供給ガスを温かい温度から極低温まで冷却する。次に過冷却冷凍ループを利用して、供給ガスをさらに冷却してLNGを形成する。一実施形態では、過冷却冷凍ループは、冷媒としてフラッシュガスを用いる閉ループである。この供給ガエキスパンダベースプロセスは、1MTA未満のトレイン能力範囲に限定されないという利点を有する。約6MTAのトレインサイズが検討された。しかしながら、この技術は、2つの独立した冷凍ループ及び供給ガスの圧縮のためのその要件に起因する機器数増加及び複雑さの増大という欠点を有する。

30

## 【0012】

GB 2,486,036は、予冷エキスパンダループ及び液化エキスパンダループを含む開ループ冷凍サイクルであり、膨張後の気相を用いて天然ガスを液化する供給ガスエキスパンダベースプロセスについて述べている。この文書によれば、プロセスに液化エキスパンダを含めると、ガスの再利用率及び全体的な所要冷凍力を有意に低減させる。この技術は、1種類の冷媒のみを単一圧縮ストリングで使用する所以他の技術より単純であるという利点を有する。しかしながら、この技術はそれでも1.5MTA未満の能力に限定され、LNG生産に標準的機器でない液化エキスパンダの使用を要する。この技術は、リーン天然ガスの液化の他の技術より効率が低いことも示されている。

40

## 【0013】

米国特許第7,386,996号は、主エキスパンダベース冷却回路に先立つ予冷冷凍プロセスを有するエキスパンダベースプロセスについて述べている。予冷冷凍プロセスは、カスケード配列の二酸化炭素冷凍回路を含む。二酸化炭素冷凍回路は、供給ガス及び主エキスパンダベース冷却回路の冷媒ガスを3つの圧力レベル：二酸化炭素冷凍回路にウォームエンド(w a r m - e n d)冷却を与えるための高圧レベル；中温度冷却を与えるた

50

めの中圧レベル；及びコールドエンド（cold-end）冷却を与えるための低圧レベルで冷却することができる。この技術は、予冷ステップを欠いているエキスパンダベースプロセスより効率が良く、高い生産能力を有する。この技術は、予冷冷凍サイクルが炭化水素冷媒の代わりに二酸化炭素を冷媒として使用するので、FLNG用途に適したさらなる利点を有する。しかしながら、二酸化炭素冷凍回路は、追加冷媒及び相当量の外部機器が導入されるので、液化プロセスに複雑さを加えるという犠牲を払っている。FLNG用途では、二酸化炭素冷凍回路はそれ自体のモジュール内にある可能性があり、複数のエキスパンダベースプロセスに予冷をもたらすサイズであり得る。この配列は、予冷モジュールと主エキスパンダベースプロセスモジュールとの間に相当量のパイプ接続を必要とするという欠点を有する。上記「LNGインボックス（LNG-in-a-Box）」の利点はもはや実現されない。

10

#### 【0014】

従って、追加冷媒を必要とせず、LNG液化プロセスに相当量の外部機器を導入しない予冷プロセスを開発する必要性が残っている。液化モジュールと同じモジュール内に設置できる予冷プロセスを開発するさらなる必要性がある。さらに、重質炭化水素除去プロセスと容易に統合することができ、液化の上流で補助冷却を実現できる予冷プロセスを開発するさらなる必要性がある。SMRプロセス又はエキスパンダベースプロセスと組み合わせた該予冷プロセスは、上側スペース及びウェイトがプロジェクト経済に大きな影響を与えるFLNG用途に特に適しているであろう。エキスパンダベースプロセスの利点を備え、さらに、設備のフットプリントを有意に増やすことなく高いLNG生産能力を有するLNG生産プロセスを開発する明確な必要性が残っている。さらに、ガス処理中に船舶運動があるという課題をより良く取り扱うことができるLNG技術解決策を開発する必要がある。このような高能力のエキスパンダベース液化プロセスは、エキスパンダベース液化プロセスの固有の安全性及び簡便さが非常に重んじられるFLNG用途に特に適しているであろう。

20

#### 【発明の概要】

#### 【0015】

##### 発明の概要

開示態様に従って、天然ガスストリームから液化天然ガス（LNG）を生産するための方法及び装置を提供する。天然ガスストリームの一部又は全てが第1の熱交換器内で冷却されて、冷却された天然ガスストリームを生成する。冷却された天然ガスストリームと天然ガスストリームが混ぜ合わせられて混合天然ガスストリームを生成し、それから重質炭化水素が除去され、それによって分離天然ガスストリームが生成される。分離天然ガスストリームは、第1の熱交換器内で部分的に凝縮され、それによって部分的に凝縮された天然ガスストリームを生成し、それから液体が分離され、それによって冷たい前処理ガスストリーム及び液体ストリームが生成される。冷たい前処理ガスストリームは、第1の熱交換器内で温められてから、少なくとも1つの圧縮機内で少なくとも1,500psia（10,340kPa）の圧力まで圧縮されて、圧縮天然ガスストリームを形成する。圧縮天然ガスストリームは冷却されて、冷却された圧縮天然ガスストリームを形成し、これは、少なくとも1つのワーク生成天然ガスエキスパンダ内で、2,000psia（13,790kPa）未満であり、かつ少なくとも1つの圧縮機が前処理天然ガスストリームを圧縮する圧力以下である圧力まで膨張させられ、それによってチルド天然ガスストリームを形成する。チルド天然ガスストリームは、冷媒ストリームと非冷媒ストリームに分けられ、冷媒ストリームは、再循環されて、第1の熱交換器内で、天然ガスストリームの少なくとも一部、分離天然ガスストリーム、及び冷たい前処理ガスストリームを含む1以上のプロセスストリームと熱交換し、それによって温められた冷媒ストリームを生成する。温められた冷媒ストリーム及び非冷媒ストリームが液化されてLNGを形成する。

30

40

#### 【0016】

開示態様は、天然ガスストリームから液化天然ガス（LNG）を生産するための方法及び装置をも提供する。天然ガスストリームの一部が第1の熱交換器内で冷却されて、冷却

50

された天然ガストリームを生成する。冷却された天然ガストリームと天然ガストリームが混ぜ合わせられて混合天然ガストリームを生成し、それから重質炭化水素が除去され、それによって分離天然ガストリームが生成される。分離天然ガストリームは、第1の熱交換器内で部分的に凝縮され、それによって部分的に凝縮された天然ガストリームを生成し、それから液体が分離され、それによって冷たい前処理ガストリーム及び液体ストリームが生成される。冷たい前処理ガストリームは、第1の熱交換器内で温められてから、少なくとも1つの圧縮機内で少なくとも1,500 psia (10,340 kPa)の圧力まで圧縮されて、圧縮天然ガストリームを形成する。圧縮天然ガストリームは冷却されて、冷却された圧縮天然ガストリームを形成し、これは、少なくとも1つのワーク生成天然ガスエキスパンダ内で、2,000 psia (13,790 kPa)未満であり、かつ少なくとも1つの圧縮機が前処理天然ガストリームを圧縮する圧力以下である圧力まで膨張させられ、それによってチルド天然ガストリームを形成する。チルド天然ガストリームは再循環されて、天然ガストリームの一部、分離天然ガストリーム、及び冷たい前処理ガストリームを含む1以上のプロセスストリームとの熱交換によって、温められた冷媒ストリームを生成する。この温められた冷媒ストリームが液化されてLNGを形成する。

10

【図面の簡単な説明】

【0017】

【図1】既知原理に従う重質炭化水素除去用統合スクラップカラムを有するSMRプロセスの概略図である。

20

【図2】開示態様に従う重質炭化水素除去を有する高圧圧縮及び膨張(HPCE)モジュールの概略図である。

【図3】既知原理に従う単一混合冷媒(SMR)液化モジュールの配列を示す概略図である。

【図4】開示態様に従うSMR液化モジュールの配列を示す概略図である。

【図5】エキスパンダベース冷凍プロセスの加熱及び冷却曲線を示すグラフである。

【図6】開示態様に従う重質炭化水素除去を有するHPCEモジュールの概略図である。

【図7】開示態様に従う重質炭化水素除去を有するHPCEモジュール及び供給ガスエキスパンダベース液化モジュールの概略図である。

【図8】開示態様に従って天然ガスを液化してLNGを形成する方法の流れ図である。

30

【図9】開示態様に従って天然ガスを液化してLNGを形成する方法の流れ図である。

【図10】開示態様に従う天然ガス前処理装置並びに液化モジュールの一部の概略図である。

【図11】開示態様に従う天然ガス前処理装置及び液化モジュールの概略図である。

【図12】開示態様に従う天然ガス前処理装置及び液化モジュールの概略図である。

【図13】開示態様に従う天然ガス前処理装置及び液化モジュールの概略図である。

【図14】開示態様に従う天然ガス前処理装置及び液化モジュールの概略図である。

【図15】開示態様に従う天然ガス前処理装置及び液化モジュールの概略図である。

【図16A】開示態様に従う天然ガス前処理装置及び液化モジュールの概略図である。

【図16B】開示態様に従う天然ガス前処理装置及び液化モジュールの概略図である。

40

【図17】開示態様に従って液化天然ガスを生産する方法を示す流れ図である。

【図18】開示態様に従って液化天然ガスを生産する方法を示す流れ図である。

【図19】開示態様に従って液化天然ガスを生産する方法を示す流れ図である。

【図20】開示態様に従って液化天然ガスを生産する方法を示す流れ図である。

【図21】開示態様に従って液化天然ガスを生産する方法を示す流れ図である。

【発明を実施するための形態】

【0018】

詳細な説明

種々の具体的な態様、実施形態、及びバージョンについて、本明細書で採用した定義を含めて以下に述べる。当業者は、このような態様、実施形態、及びバージョンは例示に過

50

ぎず、本発明は、他の方法で実施できることを認めるであろう。「発明」へのいずれの言及も、特許請求の範囲によって規定される実施形態の1つ以上を意味し得るが、必ずしも全てを意味しないこともある。表題の使用は、便宜上の目的に過ぎず、本発明の範囲を限定しない。明瞭さ及び簡潔さの目的で、いくつかの図中の類似の参照番号は、類似のアイテム、ステップ、又は構造体を表し、あらゆる図で詳細に描写されるわけではない。

本明細書の詳細な説明及び特許請求の範囲内の全ての数値については、指示値を「約（「about」又は「approximately」）で修飾してあり、当業者が予想する実験誤差及び変動を考慮している。

#### 【0019】

本明細書で使用する場合、用語「圧縮機」は、ワークの適用によってガスの圧力を高くする機械を意味する。「圧縮機」又は「冷媒圧縮機」には、ガスストリームの圧力を高める能力があるいずれのユニット、デバイス、又は装置も含まれる。これには、単一圧縮プロセス若しくはステップを有する圧縮機、又は多段圧縮若しくはステップを有する圧縮機、又はさらに特に単一のケーシング若しくはシェル内の多段圧縮機が含まれる。本明細書での複数圧縮機への言及には、複数の一段圧縮機、1以上の多段圧縮機、及びその任意の組み合わせが含まれる。圧縮すべき蒸発ストリームは、様々な圧力で圧縮機に供給され得る。冷却プロセスのいくつかの段階又はステップは、並列、直列、又は両方の2つ以上の圧縮機を必要とすることがある。本発明は、特にいずれの冷媒回路においても、圧縮機（複数可）のタイプ又は配列若しくは配置によって限定されない。

#### 【0020】

本明細書で使用する場合、「冷却」は、物質の温度及び/又は内部エネルギーを任意の適量、又は所望量、又は所要量だけ減じ及び/又は低下させることを広く意味する。冷却には、少なくとも約1、少なくとも約5、少なくとも約10、少なくとも約15、少なくとも約25、少なくとも約35、又は少なくとも約50、又は少なくとも約75、又は少なくとも約85、又は少なくとも約95、又は少なくとも約100

の温度低下が含まれることがある。冷却は、いずれの適切なヒートシンク、例えば蒸気発生、熱水加熱、冷却水、空気、冷媒、他のプロセスストリーム（統合）、及びその組み合わせを利用してよい。所望の出口温度に達するように冷却の1以上の原因を組み合わせ及び/又はつなげてよい。冷却ステップは、任意の適切なデバイス及び/又は機器を備えた冷却ユニットを使用してよい。いくつかの実施形態によれば、冷却は、例えば1つ以上の熱交換器による間接的熱交換を含むことがある。別の方法では、冷却は、蒸発（気化熱）冷却及び/又は直接熱交換、例えばプロセスストリームに直接噴霧される液体を利用してよい。

本明細書で使用する場合、用語「環境」は、周囲の局所的条件、例えば、プロセス近傍の温度及び圧力を指す。

#### 【0021】

本明細書で使用する場合、用語「膨張デバイス」は、ライン内の流体（例えば、液体ストリーム、蒸気ストリーム、又は液体と蒸気を両方とも含有する多相ストリーム）の圧力を下げるのに適した1以上のデバイスを指す。特定タイプの膨張デバイスを具体的に明記していない限り、膨張デバイスは、（1）少なくとも部分的に等エンタルピー手段によるか、又は（2）少なくとも部分的に等エントロピー手段によるか、又は（3）等エントロピー手段と等エンタルピー手段の両方の組み合わせであってよい。天然ガスの等エンタルピー膨張に適したデバイスは技術上周知であり、一般的に、限定するものではないが、手動若しくは自動で駆動される絞りデバイス、例えば、弁、制御弁、ジュール・トムソン（J-T）弁、又はベンチュリデバイスが挙げられる。天然ガスの等エントロピー膨張に適したデバイスは技術上周知であり、一般的に、エキスパンダ又は該膨張からワークを引き出すか若しくは導き出すターボエキスパンダ等の機器が挙げられる。液体ストリームの等エントロピー膨張に適したデバイスは技術上周知であり、一般的にエキスパンダ、油圧エキスパンダ、液体タービン、又は該膨張からワークを引き出すか若しくは導き出すターボエキスパンダ等の機器が挙げられる。等エントロピー手段と等エンタルピー手段の両方の

組み合わせの例は、並列状態のジュール・トムソン弁及びターボエキスパンダであり、どちらかを単独で使用するか又は J-T 弁とターボエキスパンダを両方とも同時に使用する可能性を与える。等エンタルピー又は等エントロピー膨張は、全て液相、全て気相、又は混合相状態で行なうことができ、かつ蒸気ストリーム若しくは液体ストリームから多相ストリーム（気相と液相を両方有するストリーム）又はその最初の相と異なる単相ストリームへの相変化を促すために行なうことができる。本明細書の図面の説明において、いずれの図面中の複数の膨張デバイスへの言及も、各膨張デバイスが同一タイプ又はサイズであることを必ずしも意味しない。

#### 【0022】

本明細書では用語「ガス」を「蒸気」と互換的に使用し、液体又は固体状態と区別される気体状態の物質又は物質の混合物と定義する。同様に、用語「液体」は、気体又は固体状態と区別される液体状態の物質又は物質の混合物を意味する。

「熱交換器」は、ある媒体から別の媒体へ、例えば少なくとも2種の別個の流体間で熱エネルギー又は冷熱エネルギーを移す能力があるいずれのデバイスをも広く意味する。熱交換器としては、「直接熱交換器」及び「間接式熱交換器」がある。従って、熱交換器は、いずれの適切なデザインのものであってよく、例えば並流又は逆流熱交換器、間接式熱交換器（例えばスパイラル巻き熱交換器又はプレートフィン熱交換器、例えばアルミろう付けプレートフィン型）、直接接触熱交換器、シェルアンドチューブ熱交換器、スパイラル、ヘアピン、コア、コアアンドケトル（core-and-kettle）、プリント回路、二重管又はいずれの他のタイプの既知熱交換器であってもよい。「熱交換器」は、いずれのカラム、塔、ユニット又は1種以上のストリームのその中の通過を可能にし、かつ冷媒の1以上のライン間、及び1以上の供給ストリーム間の直接又は間接的熱交換に影響を及ぼすように採用された他のアレンジメントをも指す。

#### 【0023】

本明細書で使用する場合、用語「重質炭化水素」は、4個より多くの炭素原子を有する炭化水素を指す。主要例としては、ペンタン、ヘキサン及びヘプタンが挙げられる。他の例としては、ベンゼン、芳香族化合物、又はダイヤモンドイドがある。

本明細書で使用する場合、用語「間接的熱交換」は、2種の流体が如何なる物理的接触もないか又は相互に混ざることなく該流体を熱交換関係に至らせることを意味する。間接的熱交換を促進する機器の例は、コアインケトル（core-in-kettle）熱交換器及びアルミろう付けプレートフィン熱交換器である。

本明細書で使用する場合、用語「天然ガス」は、油田井から得られる多成分ガス（随伴ガス）又は地下ガス保有層（subterranean gas-bearing formation）から得られる多成分ガス（非随伴ガス）を指す。天然ガスの組成及び圧力は著しく変動し得る。典型的な天然ガスストリームは、重要成分としてメタン（C<sub>1</sub>）を含有する。天然ガスストリームは、より高分子量の炭化水素であるエタン（C<sub>2</sub>）及び1種以上の酸性ガスを含むこともある。天然ガスは、水、窒素、硫化鉄、ワックス、及び原油等の少量の混入物を含むこともある。

#### 【0024】

本明細書で使用する場合、用語「分離デバイス」又は「分離器」は、少なくとも2種の構成要素を有する流体を受け取るように構成され、かつ容器の上部からガス状ストリーム及び容器の下部から液体（又は下部）ストリームを生じさせるように構成されたいずれの容器をも指す。分離デバイス/分離器は内部の接触促進構造体（例えば充填要素、ストリッパー、堰板、煙突等）を含み、1、2、又は3以上の部分（例えばストリッピング部及びリボイラー部）を含むことがあり、及び/又は追加の入口及び出口を含むことがある。典型的な分離デバイス/分離器としては、バルク精留塔、ストリッピングカラム、相分離器、スクラブカラムその他が挙げられる。

本明細書で使用する場合、用語「スクラブカラム」は、天然ガスストリームから重質炭化水素を除去するために用いられる分離デバイスを指す。

#### 【0025】

10

20

30

40

50

特定の実施形態及び特徴について一連の上限数値及び一連の下限数値を用いて述べた。別段の指示がない限り、任意の下限から任意の上限までの範囲が企図されるものと理解すべきである。全ての数値は、「約 ( a b o u t 又は a p p r o x i m a t e l y ) 」指示値であり、当業者が予想する実験誤差及び変動を考慮している。

本出願に引用した全ての特許、試験手順、及び他の文書は、該開示が本出願と矛盾せず、このような援用が許容されるすべての管轄権に対して矛盾しない程度まで、参照することにより全体が援用される。

#### 【 0 0 2 6 】

本明細書で開示する態様は、天然ガスを液化する前の高圧圧縮及び高圧膨張プロセスの追加による LNG 生産のための液化プロセスに対して天然ガスを前処理及び予冷するプロセスについて述べる。圧縮され、膨張したガスの一部を用いて、供給ガスの前処理と関係がある 1 種以上のプロセスストリームを冷却する。より詳細には、本発明は、重質炭化水素が天然ガスストリームから除去されて、前処理天然ガスストリームを形成するプロセスを開示する。前処理天然ガスは、1, 500 p s i a ( 1 0 , 3 4 0 k P a ) 超、さらに好ましくは 3, 000 p s i a ( 2 0 , 6 8 0 k P a ) 超の圧力まで圧縮される。この熱い圧縮ガスは、周囲環境と熱交換することによって冷却されて、圧縮前処理ガスを形成する。圧縮前処理ガスは、3, 000 p s i a ( 2 0 , 6 8 0 k P a ) 未満の圧力、さらに好ましくは 2, 000 p s i a ( 1 3 , 7 9 0 k P a ) 未満の圧力までほぼ等エントロピー的に膨張させられて第 1 のチルド前処理ガスを形成する。この場合、第 1 のチルド前処理ガスの圧力は、圧縮前処理ガスの圧力より低い。第 1 のチルド前処理ガスは、少なくとも 1 つの冷媒ストリームと非冷媒ストリームに分けられる。少なくとも 1 つの冷媒ストリームは、少なくとも 1 つの熱交換器へ方向づけられ、そこでそれが作用してプロセスストリームを冷却し、温められた冷媒ストリームを形成する。この温められた冷媒ストリームは、非冷媒ストリームと混合されて、第 2 のチルド前処理ガスを形成する。第 2 のチルド前処理ガスは、1 つ以上の SMR 液化トレインへ方向づけられることがあり、或いは第 2 のチルド前処理ガスは、1 つ以上のエキスパンダベース液化トレインへ方向づけられることがあり、そこでガスはさらに冷却されて LNG を形成する。

#### 【 0 0 2 7 】

図 2 は、天然ガスストリーム 201 を前処理及び予冷した後、高圧圧縮及び膨張 ( H P C E ) プロセスモジュール 212 が続く前処理装置 200 の実例である。天然ガスストリーム 201 は、スクラブカラム 202 等の分離デバイスに流入することができ、そこで天然ガスストリーム 201 はカラムオーバヘッドストリーム 203 とカラム下部ストリーム 204 に分けられる。カラムオーバヘッドストリーム 203 は、「コールドボックス」として知られる第 1 の熱交換器 205 を通って流れることができ、そこでカラムオーバヘッドストリーム 203 は、部分的に凝縮されて二相ストリーム 206 を形成する。二相ストリーム 206 は、別の分離デバイス、例えば分離器 207 に流入して、冷たい前処理ガスストリーム 208 及び液体ストリーム 209 を形成することができる。冷たい前処理ガスストリーム 208 は、第 1 の熱交換器 205 を通って流れることができ、そこで冷たい前処理ガスストリーム 208 は、カラムオーバヘッドストリーム 203 と間接的に熱交換することによって温められ、それによって前処理天然ガスストリーム 210 を形成し得る。液体ストリーム 209 は、ポンプ 211 内で加圧されてから、カラム還流ストリームとしてスクラブカラム 202 へ方向づけられ得る。

#### 【 0 0 2 8 】

H P C E プロセスモジュール 212 は、前処理天然ガスストリーム 210 を圧縮して中圧ガスストリーム 214 を形成する第 1 の圧縮機 213 を含むことができる。中圧ガスストリーム 214 は、第 2 の熱交換器 215 を通って流れることができ、そこで中圧ガスストリーム 214 は、周囲環境と間接的に熱交換することによって冷却されて、冷却された中圧ガスストリーム 216 を形成する。第 2 の熱交換器 215 は、空冷熱交換器又は水冷熱交換器であり得る。冷却された中圧ガスストリーム 216 は、次に第 2 の圧縮機 217 内で圧縮されて高圧ガスストリーム 218 を形成することができる。高圧ガスストリーム

10

20

30

40

50

218の圧力は、1,500psia(10,340kPa)超、さらに好ましくは3,000psia(20,680kPa)超であり得る。高圧ガスストリーム218は、第3の熱交換器219を通過して流れることができ、そこで高圧ガスストリーム218は、周囲環境と間接的に熱交換することによって冷却されて、冷却された高圧ガスストリーム220を形成する。第3の熱交換器219は空冷熱交換器又は水冷熱交換器であってよい。冷却された高圧ガスストリーム220は、次にエキスパンダ221内で膨張して第1のチルド前処理ガスストリーム222を形成することができる。第1のチルド前処理ガスストリーム222の圧力は3,000psia(20,680kPa)未満、さらに好ましくは2,000psia(13,790kPa)未満であってよく、第1のチルド前処理ガスストリーム222の圧力は、冷却された高圧ガスストリーム220の圧力より低い。好ましい態様では、第2の圧縮機217は、破線223で示すように、エキスパンダ221により生成された軸動力だけで駆動され得る。第1のチルド前処理ガスストリーム222は、冷媒ストリーム224と非冷媒ストリーム225に分けられることがある。冷媒ストリーム224は、第1の熱交換器205を通過して流れることができ、そこで冷媒ストリーム224は、カラムオーバヘッドストリーム203と間接的に熱交換することによって部分的に温められ、それによって温められた冷媒ストリーム226を形成する。温められた冷媒ストリーム226は、非冷媒ストリーム225と混ざり合って第2のチルド前処理ガスストリーム227を形成し得る。第2のチルド前処理ガスストリーム227は、次に例えば、SMR液化トレイン240内で、第4の熱交換器229のSMR冷媒ループ228との間接的熱交換によって液化され得る。結果として生じるLNGストリーム230は、次に、必要に応じて貯蔵及び/又は輸送され得る。

10

20

#### 【0029】

冷媒ストリーム224を用いて、前処理装置200と関係があるプロセスストリームのいずれをも冷却(cool又はchill)し得ることに留意すべきである。例えば、カラムオーバヘッドストリーム203、二相ストリーム206、冷たい前処理ガスストリーム208、液体ストリーム209、及び前処理天然ガスストリーム210の1種以上が冷媒ストリーム224と熱交換するように構成され得る。さらに、前処理装置200と関係がない他のプロセスストリームを冷媒ストリーム224との熱交換によって冷却してよい。種々のプロセスストリームを冷却するために用いられる2つ以上のサブストリームに冷媒ストリーム224を分けてよい。

30

#### 【0030】

ある態様では、SMR液化プロセスの上流にHPCEプロセスを追加することによってSMR液化プロセスを向上させることができる。より詳細には、この態様では、前処理天然ガスが1,500psia(10,340kPa)超、さらに好ましくは3,000psia(20,680kPa)超の圧力まで圧縮され得る。この熱い圧縮ガスは、次に周囲環境と熱交換することによって冷却されて、圧縮前処理ガスを形成する。圧縮前処理ガスは、次に3,000psia(20,680kPa)未満の圧力、さらに好ましくは2,000psia(13,790kPa)未満の圧力までほぼ等エントロピー的に膨張させられて第1のチルド前処理ガスを形成し、この場合、第1のチルド前処理ガスの圧力は、圧縮前処理ガスの圧力より低い。第1のチルド前処理ガスストリームは、冷媒ストリームと非冷媒ストリームに分けられる。カラムオーバヘッドストリームを部分的に凝縮し、温められた冷媒ストリームを生成するのを助けるため、冷媒ストリームは、カラムオーバヘッドストリームと熱交換することによって温められる。温められた冷媒ストリームは、非冷媒ストリームと混合されて第2のチルド前処理ガスを生成する。第2のチルド前処理ガスは、次に、並列に配置された複数のSMR液化トレインへ方向づけられることがあり、そこでチルド前処理ガスは、その中でさらに冷却されてLNGを形成する。

40

#### 【0031】

天然ガスの前処理を有するHPCEプロセスと複数のSMR液化トレイン内での液化との組み合わせは、天然ガスが重質炭化水素除去(最後の前処理ステップ)と液化の両方のために直接SMR液化トレインに送られる従来のSMRプロセスを超えるいくつかの利点

50

を有する。例えば、H P C Eプロセスを用いる天然ガスの予冷は、S M R液化トレイン内の所与の馬力のためS M R液化トレイン内のL N G生産率上昇を可能にする。図3及び4は、開示態様が該L N G生産率上昇をどのようにして実現するかを実証する。図3は、既知原理に従うL N G生産設備、例えばF L N Gユニット300における液化モジュール又はトレイン、例えばS M R液化トレインの配列の実例である。酸性ガス及び水を除去して極低温処理に適した天然ガスを作り出すために前処理される天然ガストリーム302は、並列に配置された5つの同一又はほぼ同一のS M R液化トレイン304、306、308、310、312間に分配され得る。例として、各S M R液化トレインは、ガスタービン又は電動機（図示せず）のどちらかから約50メガワット（MW）の圧縮力を受け取って、それぞれのS M R液化トレインの圧縮機を駆動することができる。各S M R液化モジュールは、天然ガストリームから重質炭化水素を除去し、冷媒組成を形成するのに十分な量の天然ガス液を回収するための統合スクラブカラムを備える。各S M R液化モジュールは、F L N Gユニット300全体で約7.5 M T Aの総ストリーム生産のため年間約150万トン（M T A）のL N Gを生産することができる。

#### 【0032】

対照的に、図4は、開示態様に従うL N G液化設備、例えばF L N Gユニット400を概略的に示す。F L N Gユニット400は並列に配置された4つのS M R液化トレイン406、408、410、412を含む。図3に示すS M R液化トレインとは異なってS M R液化トレイン406、408、410、412のどれもスクラブカラムを含まない。代わりに、酸性ガス及び水を除去して極低温処理に適したガスを作り出すために前処理される天然ガストリーム402はH P C Eモジュール404へ方向づけられて、チルド前処理ガストリーム405を生成することができる。前述したように、H P C Eモジュールは、その（スクラブカラム又は類似分離器を含む）中で重質炭化水素除去プロセスと統合されて、天然ガストリーム402の液化中に固体を形成し得るいずれの炭化水素をも除去することができる。H P C Eモジュール404は、例えば、ガスタービン又は電動機（図示せず）のどちらかから約55 MWの圧縮力を受け取って、H P C Eモジュール404内の1つ以上の圧縮機を駆動することができる。チルド前処理ガストリーム405は、S M R液化モジュール406、408、410、412間に分配され得る。各S M R液化モジュールは、ガスタービン又は電動機（図示せず）のどちらかから約50 MWの圧縮力を受け取って、それぞれのS M R液化モジュールの圧縮機を駆動することができる。各S M R液化モジュールは、F L N Gユニット400について約7.6 M T AのL N Gの総生産量のために約1.9 M T AのL N Gを生産することができる。F L N Gユニット400が、単一スクラブカラム及びコールドボックスと統合された開示H P C Eプロセスモジュール（H P C Eプロセスモジュール404と総称する）を使用する場合、天然ガストリーム402から重質炭化水素を除去するために単一スクラブカラムが必要なだけである。1つのS M R液化トレインを開示H P C Eモジュール404に置き換えると、H P C Eモジュールは、置き換えられたS M R液化トレインより小さく、軽く、かつかなり低コストであると予想されるので有利である。置き換えられたS M R液化トレインと同様に、H P C Eモジュール404は、同等サイズのガスタービンを有して圧縮力を与えることができ、同等量の空気又は水の冷却器を有することにもなる。しかしながら、置き換えられたS M R液化トレインとは異なって、H P C Eモジュール404は高価な主要極低温熱交換器を持たない。置き換えられたH P C E液化トレインでは、S M Rモジュール内の冷媒の流れと関連する容器及びパイプは排除される。さらに、H P C Eモジュール404内の高価な極低温パイプの量はかなり削減される。

#### 【0033】

開示H P C Eモジュールは、天然ガスから重質炭化水素を除去してから全ての液化トレインに天然ガスを供給するために用いる単一のスクラブカラムを備える。このデザインは、重質炭化水素除去が含まれないデザインに比べてH P C Eモジュールの所要力が10～15%増加する。しかしながら、各S M R液化トレイン内に代えて、H P C Eモジュール内に重質炭化水素除去を統合すると、各S M R液化トレインのウェイトを減らし、F L N

10

20

30

40

50

Gシステムの機器数及び全体的な上側のウェイトの総合的減少をもたらす得る。別の利点は、液化圧力が、供給ガスのクリコンデンバールを超えることができ、液化効率上昇をもたらす。さらに、提案デザインは、供給ガスの変化に対して統合スクラブカラムデザインよりフレキシブルである。

開示H P C Eモジュールの別の利点は、S M R液化トレイン数が1つ減ったので冷媒の所要貯蔵が減少することである。また、ガスの温かい温度の冷却の大部分がH P C Eモジュール内で起こるので、混合冷媒の重質炭化水素成分を減らすことができる。例えば、混合冷媒のプロパン成分は、S M R液化プロセスの効率の如何なる有意な低下もなく排除され得る。

別の利点は、開示H P C Eモジュールからチルド前処理ガスを受け取るS M R液化プロセスでは、S M R液化プロセスの気化冷媒の体積流量は、温かい前処理ガスを受け取る従来のS M R液化プロセスのものより25%超少ない可能性がある。冷媒のより少ない体積流量は、主要極低温熱交換器のサイズ及び低圧混合冷媒圧縮機のサイズを縮小することができる。冷媒のより少ない体積流量は、従来のS M R液化プロセスのものに比べてより高いその気化圧力が原因である。

#### 【0034】

既知のプロパン予冷混合冷凍プロセス及び二重混合冷凍(D M R)プロセスは、予冷冷凍回路と組み合わせたS M R液化プロセスの異形と見なすことができるが、該プロセスと本開示の態様との間には有意な差異がある。例えば、既知プロセスは、カスケードプロパン冷凍回路又はウォームエンド混合冷媒を用いてガスを予冷する。これらの既知プロセスは両方ともS M R液化プロセスより5%~15%高い効率をもたらすという利点を有する。さらに、これらの既知プロセスを利用する単一液化トレインの能力は、単一S M R液化トレインの能力よりかなり高い可能性がある。しかしながら、これらの技術の予冷冷凍回路は、追加冷媒及び相当量の外部機器が導入されるので、液化プロセスに複雑さが加味されるという犠牲を払うことになる。例えば、より高い複雑さ及びウェイトというD M R液化プロセスの欠点は、F L N G用途のためにD M R液化プロセスかS M R液化プロセスのどちらかに決めるときにより高い効率及び能力というその利点を上回る可能性がある。既知プロセスは、単一液化トレインに対するより高い熱効率及びより高いL N G生産能力の必要性によって主に推進されるので、S M R液化プロセスの上流に予冷プロセスを追加することが検討された。S M R液化プロセスと組み合わせた開示H P C Eプロセスは、冷媒ベースの予冷プロセスが与えるより高い熱効率を与えないので、以前は実現されなかった。本明細書で述べるように、S M R液化を伴うH P C Eプロセスの熱効率は、独立型S M R液化プロセスとほぼ同じである。開示態様は、これまでは陸上L N G用途に適した予冷プロセスの追加のための最大動因であった熱効率を高めるのではなくむしろ液化プロセスのウェイト及び複雑さを減じることを目指す予冷プロセスというその詳細に少なくとも一部は基づいているので新規であると考えられる。追加点として、統合スクラブカラムデザインは、液化への天然ガスの重質炭化水素除去のための最低コストの選択肢と伝統的に考えられている。しかしながら、本明細書で開示するように、重質炭化水素除去とH P C Eプロセスの統合は、複数の液化トレインが好ましい設計方法論であるときに総合的な機器数及びウェイトを減らす可能性があるという以前は実現されなかった利点をもたらす。F L N Gのより新しい用途及び遠隔陸上用途では、液化プロセスのフットプリント、ウェイト、及び複雑さが、プロジェクトコストの大きい動因である可能性がある。従って、開示態様は特に価値がある。

#### 【0035】

ある態様では、エキスパンダベース液化プロセスはエキスパンダベースプロセスの上流にH P C Eプロセスを追加することで向上し得る。より詳細には、この態様では、前処理天然ガストリームが、1,500 psia (10,340 kPa)超、さらに好ましくは3,000 psia (20,680 kPa)超の圧力まで圧縮され得る。この熱い圧縮ガスは、次に周囲環境と熱交換することによって冷却されて、圧縮前処理ガスを形成し得る。圧縮前処理ガスは、3,000 psia (20,680 kPa)未満、さらに好まし

10

20

30

40

50

くは 2,000 psia (13,790 kPa) 未満の圧力までほぼ等エントロピー的に膨張させられて第 1 のチルド前処理ガスを形成することができ、この場合第 1 のチルド前処理ガスの圧力は、圧縮前処理ガスの圧力より低い。第 1 のチルド前処理ガストリームは、冷媒ストリームと非冷媒ストリームに分けられる。冷媒ストリームは、カラムオーバヘッドストリームを部分的に凝縮し、温められた冷媒ストリームを生成するのに役立つようにカラムオーバヘッドストリームと熱交換することによって温められる。温められた冷媒ストリームは、非冷媒ストリームと混合されて第 2 のチルド前処理ガスを生成する。第 2 のチルド前処理ガスは、エキスパンダベースプロセスへ方向づけられ、そこでガスはさらに冷却されて LNG を形成する。好ましい態様では、第 2 のチルド前処理ガスは、供給ガスエキスパンダベースプロセスへ方向づけられることがある。

10

#### 【0036】

図 5 は、エキスパンダベース液化プロセスに典型的な温度冷却曲線 500 を示す。より高い温度曲線 502 は、天然ガストリームの温度曲線である。より低い温度曲線 504 は、冷たい冷却ストリームと温かい冷却ストリームの複合温度曲線である。天然ガスは、天然ガス冷却曲線 (502 で示す) と、冷たい冷却ストリーム及び温かい冷却ストリームの複合温度曲線 (504 で示す) との密接なマッチングを可能にするそのクリコンデンバールより高い圧力で液化されて、熱効率を最大にする。図示するように、冷却曲線は、3 つの温度ピンチポイント 506、508、及び 510 を特徴とする。各ピンチポイントは冷却ストリームの混合熱容量が天然ガストリームの熱容量より少ない、熱交換器内の位置である。このストリーム間の熱容量の不均衡が、有効な熱伝達率を与える最小限に許容できる温度差まで冷却ストリーム間の温度差を小さくすることになる。最低温度のピンチポイント 506 は、2 つの冷却ストリームのより冷たいストリーム、典型的には冷たい冷却ストリームが熱交換器に入るところで生じる。中間温度のピンチポイント 508 は、第 2 の冷却ストリーム、典型的には温かい冷却ストリームが熱交換器に入るところで生じる。温かい温度のピンチポイント 510 は、冷たい冷却ストリーム及び温かい冷却ストリームが熱交換器から出るところで生じる。温かい温度のピンチポイント 510 は、より温かい冷却ストリームに対して高質量流量の必要性をもたらす、引き続きエキスパンダベースプロセスの動力要求を増やす。

20

#### 【0037】

温かい温度のピンチポイント 510 を排除するために提案された 1 つの方法は、供給ガスを外部冷凍システム、例えばプロパン冷却システム又は二酸化炭素冷却システムで予冷することである。例えば、米国特許第 7,386,996 号は、カスケード配列の二酸化炭素冷凍回路を含む予冷冷凍プロセスを使用することによって温かい温度のピンチポイントを排除している。この外部予冷冷凍システムは、追加の冷媒システムが全てのその関連機器と共に導入されるので、液化プロセスの複雑さをかなり増大させるという欠点を有する。本明細書に開示する態様は、供給ガスを 1,500 psia (10,340 kPa) 超の圧力まで圧縮し、この圧縮供給ガストリームを冷却し、圧縮ガストリームを 2,000 psia (20,690 kPa) 未満の圧力まで膨張させることによって供給ガストリームを予冷することで、温かい温度のピンチポイント 510 の影響を小さくする。この場合、供給ガストリームの膨張圧力は、供給ガストリームの圧縮圧力より小さい。この供給ガストリームを冷却するというプロセスは、エキスパンダベースプロセス冷却ストリームの所要の質量流量の顕著な減少をもたらす。このプロセスは、機器数を著しく増やすことなく、かつ外部冷媒を追加せずに、エキスパンダベースプロセスの熱力学的効率をも改善する。このプロセスは、液化プロセスの上流で重質炭化水素を除去するために重質炭化水素除去と統合してもよい。ガスは、固体を形成するであろう重質炭化水素を今や含まないので、液化効率を改善するために前処理ガスをそのクリコンデンバールより高い圧力で液化することができる。

30

40

#### 【0038】

好ましい態様では、エキスパンダベースプロセスは、供給ガスエキスパンダベースプロセスであってよい。この供給ガスエキスパンダプロセスは、第 1 の閉じたエキスパンダベ

50

ース冷凍ループ及び第2の閉じたエキスパンダベース冷凍ループを含む。第1のエキスパンダベース冷凍ループは、主に供給ガスストリームからのメタンで充填可能である。第1のエキスパンダベース冷凍ループは供給ガスストリームを液化する。第2のエキスパンダベース冷凍ループは、冷媒としての窒素で充填可能である、第2のエキスパンダベース冷凍ループはLNGストリームを過冷却する。詳細には、生成天然ガスストリームは、存在する場合、水、及び酸性ガス等の不純物を除去して極低温処理に適した天然ガスを作り出すために処理することができる。処理天然ガスストリームをスクラップカラムに方向づけることができ、そこで処理天然ガスストリームはカラムオーバヘッドストリームとカラム下部ストリームに分けられる。カラムオーバヘッドストリームは、第1の熱交換器内で冷たい前処理ガスストリーム及び冷媒ストリームと間接的に熱交換することによって部分的に凝縮され、それによって二相ストリームを形成する。二相ストリームを分離器へ方向づけることができ、そこで二相ストリームは冷たい前処理ガスストリームと液体ストリームに分けられる。冷たい前処理ガスストリームは、第1の熱交換器内でカラムオーバヘッドストリームと熱交換することによって温められて前処理天然ガスストリームを形成することができる。液体ストリームは、ポンプ内で加圧されてからスクラップカラムへ方向づけられてスクラップカラムに還流をもたらすことができる。前処理天然ガスストリームは、本明細書に開示するHPC Eプロセスへ方向づけることができ、そこでそれは1,500psia(10,340kPa)超、さらに好ましくは3,000psia(20,680kPa)超の圧力まで圧縮される。この熱い圧縮ガスストリームは、次に周囲環境と熱交換することによって冷却されて、圧縮された処理天然ガスストリームを形成することができる。圧縮された処理天然ガスストリームは、3,000psia(20,680kPa)未満の圧力、さらに好ましくは2,000psia(12,790kPa)未満の圧力までほぼ等エントロピー的に膨張させられて第1のチルド処理天然ガスストリームを形成することができる、この場合第1のチルド処理天然ガスストリームの圧力は、圧縮された処理天然ガスストリームの圧力より低い。第1のチルド天然ガスストリームは、冷媒ストリームと非冷媒ストリームに分離され得る。冷媒ストリームは、第1の熱交換器内でカラムオーバヘッドストリームと熱交換することによって部分的に温められて、温められた冷媒ストリームを形成することができる。温められた冷媒ストリームは、非冷媒ストリームと混ざり合って第2のチルド天然ガスストリームを形成することができる。第2のチルド処理天然ガスは、供給ガスエキスパンダプロセスへ方向づけることができ、そこで第1のエキスパンダベース冷凍ループが作用して第2のチルド処理天然ガスを液化して加圧LNGストリームを形成する。次に第2のエキスパンダ冷凍ループが作用して加圧LNGストリームを過冷却する。この過冷却された加圧LNGストリームを今度はより低い温度まで膨張させてLNGストリームを形成することができる。

#### 【0039】

天然ガスの前処理を有するHPC Eプロセスとエキスパンダベースプロセス内の前処理ガスの液化との組み合わせは、従来のエキスパンダベースプロセスに勝るいくつかの利点を有する。HPC Eプロセスをそれと共に含めると、エキスパンダベースプロセスの効率を、利用するエキスパンダベースプロセスのタイプに応じて5~25%高めることができる。本明細書に記載の供給ガスエキスパンダプロセスは、SMRプロセスの液化効率と同様の液化効率を有しながら、それでも外部冷媒を使用せず、操作が容易で、機器数低減という利点を与えることができる。さらに、冷媒流量及び再循環圧縮機のサイズは、HPC Eプロセスと組み合わせたエキスパンダベースプロセスにとっては非常に小さいと予想される。これらの理由から、開示態様に従う単一液化トレインの生産能力は、同様サイズの従来のエキスパンダベース液化プロセスの生産能力より30~50%高い可能性がある。HPC Eプロセスとエキスパンダベース液化プロセスの上流の重質炭化水素除去の組み合わせは、ガスをそのクリコンデンバールより高い圧力で液化して液化効率を改善する選択肢を提供するというさらなる利点を有する。エキスパンダベース液化プロセスは、特に液化圧力に敏感である。従って、本明細書に記載のHPC Eプロセスは、重質炭化水素を除去するために良く適合しながら、エキスパンダベース液化プロセスの液化効率及び生産能

10

20

30

40

50

力をも高める。

【 0 0 4 0 】

図 6 は、本開示の別の態様に従う統合スクラブカラムを有する H P C E モジュール 6 0 0 の態様の事例である。極低温処理に適したガスを作り出すために前処理されて酸性ガス及び水が除去された天然ガスストリーム 6 0 1 が、分離デバイス、例えばスクラブカラム 6 0 2 に流入され、そこで天然ガスストリーム 6 0 1 は、カラムオーバヘッドストリーム 6 0 3 とカラム下部ストリーム 6 0 4 に分けられる。カラムオーバヘッドストリーム 6 0 3 は、第 1 の熱交換器 6 0 5 を通って流れることができ、そこでカラムオーバヘッドストリーム 6 0 3 は、部分的に凝縮されて二相ストリーム 6 0 6 を形成する。二相ストリーム 6 0 6 は、別の分離デバイス、例えば分離器 6 0 7 に方向づけられて、冷たい前処理ガスストリーム 6 0 8 及び液体ストリーム 6 0 9 を形成し得る。冷たい前処理ガスストリーム 6 0 8 は、第 1 の熱交換器 6 0 5 を通って流れることができ、そこで冷たい前処理ガスストリーム 6 0 8 は、カラムオーバヘッドストリーム 6 0 3 との間接的熱交換によって温められ、それから前処理天然ガスストリーム 6 1 0 が形成される。液体ストリームは、ポンプ 6 1 1 内で加圧されてからカラム還流ストリームとしてスクラブカラム 6 0 2 へ方向づけられることがある。前処理天然ガスストリーム 6 1 0 は、第 1 の圧縮機 6 1 2 へ方向づけられ、その中で圧縮されて第 1 の中圧ガスストリーム 6 1 3 を形成する。第 1 の中圧ガスストリーム 6 1 3 は第 2 の熱交換器 6 1 4 を通って流れることができ、そこで第 1 の中圧ガスストリーム 6 1 3 は、周囲環境との間接的熱交換によって冷却されて、冷却された第 1 の中圧ガスストリーム 6 1 5 を形成する。第 2 の熱交換器 6 1 4 は、空冷熱交換器又は水冷熱交換器であってよい。冷却された第 1 の中圧ガスストリーム 6 1 5 は、次に第 2 の圧縮機 6 1 6 内で圧縮されて第 2 の中圧ガスストリーム 6 1 7 を形成し得る。第 2 の中圧ガスストリーム 6 1 7 は、第 3 の熱交換器 6 1 8 を通って流れることができ、そこで第 2 の中圧ガスストリーム 6 1 7 は、周囲環境との間接的熱交換によって冷却されて、冷却された第 2 の中圧ガスストリーム 6 1 9 を形成する。第 3 の熱交換器 6 1 8 は空冷熱交換器又は水冷熱交換器であってよい。冷却された第 2 の中圧ガスストリーム 6 1 9 は、次に第 3 の圧縮機 6 2 0 内で圧縮されて高圧ガスストリーム 6 2 1 を形成し得る。高圧ガスストリーム 6 2 1 の圧力は  $1, 500 \text{ psia}$  ( $10, 340 \text{ kPa}$ ) 超、さらに好ましくは  $3, 000 \text{ psia}$  ( $20, 680 \text{ kPa}$ ) 超であってよい。高圧ガスストリーム 6 2 1 は、第 4 の熱交換器 6 2 2 を通って流れることができ、そこで高圧ガスストリーム 6 2 1 は、周囲環境と間接的に熱交換することによって冷却されて、冷却された高圧ガスストリーム 6 2 3 を形成する。第 4 の熱交換器 6 2 2 は、空冷熱交換器又は水冷熱交換器であってよい。冷却された高圧ガスストリーム 6 2 3 は、次にエキスパンダ 6 2 4 内で膨張させられて第 1 のチルド前処理ガスストリーム 6 2 5 を形成する。第 1 のチルド前処理ガスストリーム 6 2 5 の圧力は、 $3, 000 \text{ psia}$  ( $20, 680 \text{ kPa}$ ) 未満、さらに好ましくは  $2, 000 \text{ psia}$  ( $13, 790 \text{ kPa}$ ) 未満であってよく、第 1 のチルド前処理ガスストリーム 6 2 5 の圧力は、冷却された高圧ガスストリーム 6 2 3 の圧力より低くてよい。ある態様では、第 3 の圧縮機 6 2 0 は、線 6 2 4 a で示すように、エキスパンダ 6 2 4 により生じた軸動力のみで駆動され得る。第 1 のチルド前処理ガスストリーム 6 2 5 は、冷媒ストリーム 6 2 6 と非冷媒ストリーム 6 2 7 に分離され得る。冷媒ストリーム 6 2 6 は、第 1 の熱交換器 6 0 5 を通って流れることができ、そこで冷媒ストリーム 6 2 6 は、カラムオーバヘッドストリーム 6 0 3 と間接的に熱交換することによって部分的に温められて、それから温められた冷媒ストリーム 6 2 8 が形成される。温められた冷媒ストリーム 6 2 8 は、非冷媒ストリーム 6 2 7 と混ざり合って第 2 のチルド前処理ガスストリーム 6 2 9 を形成することができ、これは、以前に説明したように S M R 液化プロセスによって液化され得る。前処理装置 2 0 0 と同様に、冷媒ストリーム 6 2 6 を用いて、H P C E モジュール 6 0 0 と関係があるか又は関係がないいずれのプロセスストリームをも冷却することができる。

【 0 0 4 1 】

図 7 は、開示態様に従って、統合スクラブカラムを備え、かつ供給ガスエキスパンダベ

10

20

30

40

50

ース LNG 液化プロセスと組み合わせた H P C E モジュール 7 0 0 の実例である。極低温処理に適したガスを作り出すために前処理されて酸性ガス及び水が除去された天然ガスストリーム 7 0 1 は、分離デバイス、例えばスクラブカラム 7 0 2 に供給され、そこで処理天然ガスストリーム 7 0 1 は、カラムオーバヘッドストリーム 7 0 3 とカラム下部ストリーム 7 0 4 に分けられる。カラムオーバヘッドストリーム 7 0 3 は、第 1 の熱交換器 7 0 5 を通って流れることができ、そこでカラムオーバヘッドストリーム 7 0 3 は、部分的に凝縮されて二相ストリーム 7 0 6 を形成する。二相ストリーム 7 0 6 は、別の分離デバイス、例えば分離器 7 0 7 に方向づけられて、冷たい前処理ガスストリーム 7 0 8 及び液体ストリーム 7 0 9 を形成し得る。冷たい前処理ガスストリーム 7 0 8 は、第 1 の熱交換器 7 0 5 を通って流れることができ、そこで冷たい前処理ガスストリーム 7 0 8 は、カラムオーバヘッドストリーム 7 0 3 との間接的熱交換によって温められて、それから前処理天然ガスストリーム 7 1 0 が形成される。液体ストリーム 7 0 9 は、ポンプ 7 1 1 内で加圧されてからカラム環流ストリームとしてスクラブカラム 7 0 2 へ方向づけられ得る。前処理天然ガスストリーム 7 1 0 は、第 1 の圧縮機 7 1 3 へ方向づけられ、その中で圧縮されて中圧ガスストリーム 7 1 4 を形成する。中圧ガスストリーム 7 1 4 は、第 2 の熱交換器 7 1 5 を通って流れることができ、そこで中圧ガスストリーム 7 1 4 は周囲環境との間接的熱交換によって冷却されて、冷却された中圧ガスストリーム 7 1 6 を形成する。第 2 の熱交換器 7 1 5 は、空冷熱交換器又は水冷熱交換器であってよい。冷却された中圧ガスストリーム 7 1 6 は、次に第 2 の圧縮機 7 1 7 内で圧縮されて高圧ガスストリーム 7 1 8 を形成し得る。高圧ガスストリーム 7 1 8 の圧力は、1, 5 0 0 p s i a ( 1 0 , 3 4 0 k P a ) 超、さらに好ましくは 3 , 0 0 0 p s i a ( 2 0 , 6 8 0 k P a ) 超であり得る。高圧ガスストリーム 7 1 8 は、第 3 の熱交換器 7 1 9 を通って流れることができ、そこで高圧ガスストリーム 7 1 8 は、周囲環境との間接的熱交換によって冷却されて、冷却された高圧ガスストリーム 7 2 0 を形成する。第 3 の熱交換器 7 1 9 は、空冷熱交換器又は水冷熱交換器であってよい。冷却された高圧ガスストリーム 7 2 0 は、次にエキスパンダ 7 2 1 内で膨張させられて第 1 のチルド前処理ガスストリーム 7 2 2 を形成することができる。第 1 のチルド前処理ガスストリーム 7 2 2 の圧力は 3 , 0 0 0 p s i a ( 2 0 , 6 8 0 k P a ) 未満、さらに好ましくは 2 , 0 0 0 p s i a ( 1 3 , 7 9 0 k P a ) 未満であり、第 1 のチルド前処理ガスストリーム 7 2 2 の圧力は、冷却された高圧ガスストリーム 7 2 0 の圧力より低い。ある態様では、第 2 の圧縮機 7 1 7 は、破線 7 2 3 で示すように、エキスパンダ 7 2 1 により生成された軸動力だけで駆動され得る。第 1 のチルド前処理ガスストリーム 7 2 2 は冷媒ストリーム 7 2 4 と非冷媒ストリーム 7 2 5 に分離され得る。冷媒ストリーム 7 2 4 は、第 1 の熱交換器 7 0 5 を通って流れることができ、そこで冷媒ストリーム 7 2 4 は、カラムオーバヘッドストリーム 7 0 3 との間接的熱交換によって部分的に温められて、それから温められた冷媒ストリーム 7 2 6 が形成される。温められた冷媒ストリーム 7 2 6 は非冷媒ストリーム 7 2 5 と混ざり合って第 2 のチルド前処理ガスストリーム 7 2 7 を形成し得る。前処理装置 2 0 0 及び H P C E モジュール 6 0 0 と同様に、冷媒ストリーム 7 2 4 を用いて、H P C E モジュール 7 0 0 と関係があるか又は関係がないいずれのプロセスストリームをも冷却することができる。

#### 【 0 0 4 2 】

図 7 に示すように、第 2 のチルド前処理ガスストリーム 7 2 7 は、供給ガスエキスパンダベース LNG 液化プロセス 7 3 0 へ方向づけられる。供給ガスエキスパンダベースプロセス 7 3 0 は、主冷却ループ 7 3 2 を含み、これは供給ガスストリームからの成分で充填され得る閉じたエキスパンダベース冷凍ループである。液化システムは過冷却ループ 7 3 4 をも含み、これは好ましくは過冷却冷媒として窒素で充填される閉じたエキスパンダベース冷凍ループである。主冷却ループ 7 3 2 内では、膨張し、冷却された冷媒ストリーム 7 3 6 が第 1 の熱交換器ゾーン 7 3 8 へ方向づけられ、そこでそれは第 2 のチルド前処理ガスストリーム 7 2 7 と熱交換して第 1 の温かい冷媒ストリーム 7 4 0 を形成する。第 1 の温かい冷媒 7 4 0 は、第 2 の熱交換器ゾーン 7 4 2 へ方向づけられ、そこでそれは、圧縮され、冷却された冷媒ストリーム 7 4 4 と熱交換して、圧縮され、冷却された冷媒スト

10

20

30

40

50

リーム744をさらに冷却し、第2の温かい冷媒ストリーム746及び圧縮され、さらに冷却された冷媒ストリーム748を形成する。第2の熱交換器ゾーン742は、1つ以上の熱交換器を含んでよく、1つ以上の熱交換器は、プリント回路熱交換器タイプ、シェルアンドチューブ熱交換器タイプ、又はその組み合わせであってよい。第2の熱交換器ゾーン742内の熱交換器タイプは、1,500 psia (10,340 kPa) 超の設計圧力、さらに好ましくは2,000 psia (13,790 kPa) 超の設計圧力、さらに好ましくは3,000 psia (20,680 kPa) 超の設計圧力を有してよい。

【0043】

第2の温かい冷媒ストリーム746は、1つ以上の圧縮ユニット750、752内で1,500 psia (10,340 kPa) 超の圧力まで、さらに好ましくは約3,000 psia (20,680 kPa) の圧力まで圧縮され、それによって圧縮された冷媒ストリーム754を形成する。圧縮された冷媒ストリーム754は、次に冷却器756内で周囲冷却媒体(空気又は水)に接触して冷却されて、圧縮され、冷却された冷媒ストリーム744を生成する。圧縮され、さらに冷却された冷媒ストリーム748は、エキスパンダ758内でほぼ等エントロピー的に膨張させられて、膨張し、冷却された冷媒ストリーム736を生成する。エキスパンダ758は、引き出され、圧縮のために使用し得るワークを作り出すワーク膨張デバイス、例えばガスエキスパンダであってよい。

【0044】

第1の熱交換器ゾーン738は、複数の熱交換器デバイスを含んでよく、図7に示す態様では、第1の熱交換器ゾーンは、主熱交換器760及び過冷却熱交換器762を含む。これらの熱交換器は、アルミろう付け熱交換器タイプ、プレートフィン熱交換器タイプ、スパイラル巻き熱交換器タイプ、又はその組み合わせであってよい。

過冷却ループ734内では、膨張した過冷却冷媒ストリーム764(好ましくは窒素を含む)が、エキスパンダ766から放出され、過冷却熱交換器762及び主熱交換器760を通過して取り出される。膨張した過冷却冷媒ストリーム764は、次に圧縮ユニット768に送られ、そこでそれは、より高い圧力まで再圧縮され、温められる。圧縮ユニット768から出た後、結果として生じる再圧縮された過冷却冷媒ストリーム770は、冷却器772内で冷却される。冷却後、再圧縮された過冷却冷媒ストリーム770は、主熱交換器760に通され、そこでそれは、膨張し、冷却された冷媒ストリーム736及び膨張した過冷却冷媒ストリーム764との間接的熱交換によってさらに冷却される。第1の熱交換器領域738から出た後、再圧縮され、冷却された過冷却冷媒ストリームは、エキスパンダ766を通過して膨張させられて、膨張した過冷却冷媒ストリーム764を形成し、これは、本明細書に記載どおりに第1の熱交換器ゾーンを通過して再循環される。このようにして、第2のチルド前処理ガスストリーム727は、第1の熱交換器ゾーン738内でさらに冷却され、液化され、過冷却されて、過冷却されたガスストリーム774を生成する。過冷却されたガスストリーム774は、より低い圧力まで膨張させられてLNGストリーム(図示せず)を生成し得る。

【0045】

図8は、開示態様に従ってLNGを生産する方法800を示す。ブロック802で、重質炭化水素が天然ガスストリームから除去され、それによって分離天然ガスストリームが生成される。ブロック804で、分離天然ガスストリームが第1の熱交換器内で部分的に凝縮され、それによって部分的に凝縮された天然ガスストリームを生成する。ブロック806で、部分的に凝縮された天然ガスストリームから液体が分離され、それによって前処理天然ガスストリームが生成される。ブロック808で、前処理天然ガスストリームが少なくとも2つの直列に配置された圧縮機内で少なくとも1,500 psia (10,340 kPa) の圧力まで圧縮されて、圧縮天然ガスストリームを形成する。ブロック810で、圧縮天然ガスストリームが冷却されて、冷却された圧縮天然ガスストリームを形成する。ブロック812で、冷却された天然ガスストリームが、2,000 psia (13,790 kPa) 未満であり、かつ少なくとも2つの直列に配置された圧縮機が前処理天然ガスストリームを圧縮する圧力以下である圧力まで膨張させられ、それによってチルド天

10

20

30

40

50

然ガスストリームを形成する。ブロック 814 で、チルド天然ガスストリームが冷媒ストリームと非冷媒ストリームに分けられる。ブロック 816 で、冷媒ストリームが、天然ガスストリーム、分離天然ガスストリーム、部分的に凝縮された天然ガスストリーム、及び前処理天然ガスストリームを含む 1 以上のプロセスストリームとの熱交換によって温められ、それによって温められた冷媒ストリームを生成する。ブロック 818 で、この温められた冷媒ストリーム及び非冷媒ストリームが液化される。

#### 【0046】

図 9 は、開示態様に従って LNG を生産する方法 900 を示す。ブロック 902 で、天然ガスストリームが前処理されて前処理天然ガスストリームを生成する。ブロック 904 で、前処理天然ガスストリームが、少なくとも 2 つの直列に配置された圧縮機内で少なくとも 1,500 psia (10,340 kPa) の圧力まで圧縮される。ブロック 906 で、この圧縮天然ガスストリームが冷却される。ブロック 908 で、この冷却された圧縮天然ガスストリームは、少なくとも 1 つのワーク生成天然ガスエキスパンダ内で、2,000 psia (13,790 kPa) 未満であり、かつ少なくとも 2 つの直列に配置された圧縮機が前処理天然ガスストリームを圧縮する圧力以下である圧力まで膨張させられ、それによってチルド天然ガスストリームを形成する。ブロック 910 で、このチルド天然ガスストリームは、冷媒ストリームと非冷媒ストリームに分けられる。ブロック 912 で、冷媒ストリームは、熱交換器内で、天然ガスストリームの前処理と関係がある 1 以上のプロセスストリームとの熱交換によって温められ、それによって温められた冷媒ストリームを生成する。ブロック 914 で、この温められた冷媒ストリーム及び非冷媒ストリームが液化される。

#### 【0047】

図 10 は、本開示の別の態様に従って、天然ガスストリーム 1001 を前処理及び予冷し、その後高圧圧縮及び膨張 (HPCE) プロセスモジュール 1012 が続く前処理装置 1000 の実例を示す。前処理装置 1000 は、天然ガスストリームから水又は水分を除去するためのシステム、例えば分子ふるい脱水機 1000a を含む得る。図 10 には 1 つしか示していないが、図 11 ~ 16 に示す態様は、数種の水/水分除去システム、例えば脱水機 1000a を使用してもよいことを理解すべきである。天然ガスストリーム 1001 は、次に分離デバイス、例えばスクラブカラム 1002 に流入し、そこで天然ガスストリーム 1001 は、カラムオーバヘッドストリーム 1003 とカラム下部ストリーム 1004 に分けられる。カラムオーバヘッドストリーム 1003 は、第 1 の熱交換器 1005 を通って流れ、そこでカラムオーバヘッドストリーム 1003 は、部分的に凝縮されて二相ストリーム 1006 を形成する。二相ストリーム 1006 は、別の分離デバイス、例えば分離器 1007 に流入することができ、そこで液体ストリーム 1009 から冷たい前処理ガスストリーム 1008 が分離される。冷たい前処理ガスストリーム 1008 は、第 1 の熱交換器 1005 を通って流れることができ、そこで冷たい前処理ガスストリーム 1008 は、カラムオーバヘッドストリーム 1003 と間接的に熱交換することによって温められ、それによって前処理天然ガスストリーム 1010 を形成する。液体ストリーム 1009 は、ポンプ (図示せず) 内で加圧されてから、カラム還流ストリームとしてスクラブカラム 1002 へ方向づけられ得る。リポイラー 1074 は、スクラブカラム 1002 の下部から引き出された液体の一部 1015 を加熱し、この加熱液体及び随伴ガスをスクラブカラムに戻し、それによってカラム用のストリップングガス 1076 を生成する。或いは、破線 1076a で示すように、リポイラー操作用ストリップングガスストリームを天然ガスストリーム 1001 から供給してもよい。

#### 【0048】

スクラブカラムに入る天然ガスストリーム 1001 の温度を制御するため、天然ガスストリーム 1001 のサイドストリーム 1011 を第 1 の熱交換器 1005 へ方向づけてその中で冷却し、冷却された天然ガスストリーム 1011a を生成してよい。この冷却された天然ガスストリーム 1011a は、図 10 に示すように、スクラブカラム 1002 の上流で天然ガスストリームと混ぜ合わせられて混合天然ガスストリーム 1001a を形成す

る。サイドストリームは、天然ガスストリーム1001の温度及びスクラップカラムへの天然ガスストリームの所望投入温度に応じて、天然ガスストリーム1001の1%~100%、又は10%~90%、又は25%~75%、又は40%~60%を含み得る。

#### 【0049】

HPC Eプロセスモジュール1012は、前処理天然ガスストリーム1010を圧縮して中圧ガスストリーム1014を形成する第1の圧縮機1013を含み得る。中圧ガスストリーム1014は第2の熱交換器(図示せず)を通して流れることができ、そこで中圧ガスストリーム1014は、周期環境と間接的に熱交換することによって冷却される。第2の熱交換器は、空冷熱交換器又は水冷熱交換器であってよい。中圧ガスストリーム1014は、次に第2の圧縮機1017内で圧縮されて高圧ガスストリーム1018を形成し得る。高圧ガスストリーム1018の圧力は、1,500psia(10,340kPa)超、さらに好ましくは3,000psia(20,680kPa)超であり得る。高圧ガスストリーム1018は、第3の熱交換器1019を通して流れることができ、そこで高圧ガスストリーム1018は、周囲環境と間接的に熱交換することによって冷却されて、冷却された高圧ガスストリーム1020を形成する。第3の熱交換器1019は空冷熱交換器又は水冷熱交換器であってよい。冷却された高圧ガスストリーム1020は、次にエキスパンダ1021内で膨張させられて第1のチルド前処理ガスストリーム1022を形成し得る。第1のチルド前処理ガスストリーム1022の圧力は3,000psia(20,680kPa)未満、さらに好ましくは2,000psia(13,790kPa)未満であってよく、第1のチルド前処理ガスストリーム1022の圧力は、冷却された高圧ガスストリーム1020の圧力より低い。好ましい態様では、第2の圧縮機1017は、エキスパンダ1021により生成された軸動力だけで駆動され得る。HPC Eプロセスモジュール1012が1つしか圧縮機を含まない態様を含めた他の開示態様では、エキスパンダ1021を発電機(図示せず)に接続して動力を生じさせてよい。第1のチルド前処理ガスストリーム1022は、冷媒ストリーム1024と非冷媒ストリーム1025に分離され得る。冷媒ストリーム1024は、第1の前処理ガスストリーム1022の10%~90%、又は25%~75%、又は40%~60%を含み得る。冷媒ストリーム1024は、再循環されて第1の熱交換器1005を通して流れ、そこで冷媒ストリーム1024は、カラムオーバヘッドストリーム1003と間接的に熱交換することによって部分的に温められ、それによって温められた冷媒ストリーム1026を形成する。温められた冷媒ストリーム1026は、非冷媒ストリーム1025と混ぜり合っ

10

20

30

40

#### 【0050】

冷媒ストリーム1042が熱交換器1044内で冷却され、第1及び第2の冷媒圧縮機1046、1048内で圧縮されて圧縮冷媒ストリーム1050を生成する。圧縮冷媒ストリーム1050は、周囲温度の空気、水、又は他の技術上周知の冷却剤を利用する予圧熱交換器1052内で冷却される。圧縮冷媒ストリームは、次に第3の冷媒圧縮機1054内でさらに圧縮され、さらに圧縮された冷媒ストリーム1056になる。必要に応じて追加の冷媒圧縮機1054aを利用してよい。一態様では、第3の冷媒圧縮機はガスタービン1056を動力源とする。さらに圧縮された冷媒ストリームを中間冷却熱交換器1058及びポストコンプレッション熱交換器1060で冷却し、熱交換器1044内で冷媒ストリーム1042を温めるために使用してよい。冷却された圧縮冷媒ストリーム106

50

2は、次に第1及び第2の冷媒エキスパンダ1064、1066内で膨張させられて、膨張冷媒ストリーム1068を生成する。一態様では、第1及び第2の冷媒エキスパンダは、それぞれ第1及び第2の冷媒圧縮機1046、1048に接続される。好ましい態様では、第1及び第2の冷媒圧縮機1046、1048は、それぞれ、第1及び第2の冷媒エキスパンダ1064、1066により生成された軸動力だけで駆動され得る。膨張冷媒ストリーム1068は、極低温熱交換器1029へ方向づけられ、そこでそれは第2のチルド前処理ガスストリーム1027を液化してLNGストリーム1030を生成するのに必要な冷却エネルギーを与える。膨張冷媒ストリーム1068は極低温熱交換器1029内部で温められて冷媒ストリーム1042を形成し、これは、本明細書で述べ、図10に示すように、閉ループ様式の供給ガスエキスパンダベース液化モジュール1040によって再循環される。

10

#### 【0051】

冷媒ストリーム1024を用いて、前処理装置1000と関係があるいずれのプロセスストリームをも冷却(cool又はchill)することができる。例えば、カラムオーバーヘッドストリーム1003、二相ストリーム1006、冷たい前処理ガスストリーム1008、液体ストリーム1009、及び前処理天然ガスストリーム1010の1つ以上が冷媒ストリーム1024と熱交換するように構成してよい。さらに、他のプロセスストリーム又は前処理装置1000と関係がなく、記号1072で表す冷却ニーズは、プロセスのロケーション及び/又はコストに関する要望どおりに、冷媒ストリーム1024との熱交換によって冷却可能である。例えば、冷却ニーズ1072は、天然ガスストリームが脱水機1000aに入る前に天然ガスストリームを予冷して、脱水操作を支援することを含み得る。これは、同機能を果たすために液化モジュール1040からスリップストリームを取り込む必要がなく、液化モジュール1040と前処理装置1000を独立に制御できるので有利である。さらなる利益として、始動操作中に冷媒ストリーム1024を用いて前処理装置1000を冷却することができる。冷媒ストリーム1024を2つ以上のサブストリームに分け、種々のプロセスストリームを冷却するために使用してよい。

20

#### 【0052】

図11は、本開示の別の態様に従って、天然ガスストリーム1101を前処理及び予冷し、その後高圧圧縮及び膨張(HPC E)プロセスモジュール1112が続く前処理装置1100の実例である。装置1100は装置1000に類似し、類似要素には類似の参照番号を付けてある。装置1000と同様に、装置1100はスクラブカラム1102、第1の熱交換器1105、及び分離器1107を含む。スクラブカラムに入る天然ガスストリーム1101の温度を制御するため、天然ガスストリーム1101のサイドストリーム1111を第1の熱交換器1105へ方向づけて、その中で冷却し、冷却された天然ガスストリーム1111aを形成してよい。冷却された天然ガスストリーム1111aは、図11に示すように、スクラブカラム1102の上流で天然ガスストリームと混ぜ合わされて、混合天然ガスストリーム1101aを形成する。サイドストリームは、天然ガスストリーム1101の温度及びスクラブカラムへの天然ガスストリームの所望投入温度に応じて、天然ガスストリーム1101の1%~100%、又は10%~90%、又は25%~75%、又は40%~60%を含み得る。

30

40

混合天然ガスストリーム1101aはスクラブカラム1102に流入し、カラムオーバーヘッドストリーム1103とカラム下部ストリーム1104に分けられる。カラムオーバーヘッドストリーム1103は、第1の熱交換器1105を通過して流れて部分的に凝縮され、二相ストリーム1106を形成する。二相ストリーム1106は、分離器1107に流入し、冷たい前処理ガスストリーム1108と液体ストリーム1109に分けられる。冷たい前処理ガスストリーム1108は、第1の熱交換器1105を通過して流れ、カラムオーバーヘッドストリーム1103と間接的に熱交換することによって温められ、それによって前処理天然ガスストリーム1110を形成する。液体ストリーム1109は、ポンプ(図示せず)内で加圧されてから、カラム還流ストリームとしてスクラブカラム1102へ方向づけられ得る。リボイラー操作用のストリップングガスストリーム1176を天然ガ

50

スストリーム 1001 から供給してよく ; 或いは、図 10 に示すようにリボイラーを用いてスクラブカラム用のストリッピングガスを供給してよい。

【0053】

前処理天然ガスストリーム 1110 は、H P C E プロセスモジュール 1012 に類似し、さらに述べない H P C E プロセスモジュール 1112 へのインプットである。H P C E プロセスモジュール 1112 のアウトプットは、第 1 のチルド前処理ガスストリーム 1122 であり、これは冷媒ストリーム 1124 と非冷媒ストリーム 1125 に分けられる。冷媒ストリーム 1124 は、第 1 の前処理ガスストリーム 1122 の 10% ~ 90%、又は 25% ~ 75%、又は 40% ~ 60% を含み得る。冷媒ストリーム 1124 は再循環されて第 1 の熱交換器 1105 を通って流れて、カラムオーバヘッドストリーム 1103 と間接的に熱交換することによって温められ、それによって温められた冷媒ストリーム 1126 を形成する。冷媒ストリーム 1124 のサイドストリーム 1124 a は、圧力低減及び温度低減デバイス、例えばジュール・トムソン弁 1124 b へ方向づけられて、さらに冷却された冷媒ストリームを生成することができ、これも第 1 の熱交換器 1105 を通って流れるように方向づけられて、カラムオーバヘッドストリーム 1103 及びその中を通して流れるいずれの他のプロセスストリームをも冷却する。結果として生じる温められたサイドストリーム 1124 c は、前処理天然ガスストリーム 1110 と混ぜ合わせられる。温められた冷媒ストリーム 1126 は、非冷媒ストリーム 1125 と混ぜり合って第 2 のチルド前処理ガスストリーム 1127 を形成することができる。第 2 のチルド前処理ガスストリーム 1127 は、次に、例えば、供給ガスエキスパンダベース液化モジュール 1140 内で液化されて L N G ストリーム 1130 を生成し得る。モジュール 1140 は、モジュール 1040 に類似し得るので、さらに述べない。エキスパンダ 1171 を利用して L N G ストリーム 1130 の圧力及び温度を下げ、それによって、貯蔵及び輸送に適した過冷却された L N G ストリームを生成してよい。

【0054】

冷媒ストリーム 1124 を用いて、前処理装置 1100 と関係があるいずれのプロセスストリームをも冷却することができる。例えば、カラムオーバヘッドストリーム 1103、二相ストリーム 1106、冷たい前処理ガスストリーム 1108、液体ストリーム 1109、及び前処理天然ガスストリーム 1110 の 1 つ以上が冷媒ストリーム 1124 と熱交換するように構成することができる。さらに、他のプロセスストリーム又は前処理装置 1100 と関係がなく、記号 1172 で表す冷却ニーズは、プロセスのロケーション及び / 又はコストに関する要望どおりに、冷媒ストリーム 1124 との熱交換によって冷却可能である。冷媒ストリーム 1124 を 2 つ以上のサブストリームに分けて、種々のプロセスストリームを冷却するために使用してよい。

【0055】

図 12 は、天然ガスストリーム 1201 を前処理及び予冷した後に高圧圧縮及び膨張 ( H P C E ) プロセスモジュール 1212 ( モジュール 1112 に類似 ) 及び供給ガスエキスパンダベース液化モジュール 1240 ( モジュール 1140 に類似 ) が続いて、L N G ストリーム 1230 を生成するための前処理装置 1200 を示す。装置 1200 は装置 1100 に類似し、類似要素には類似の参照番号を付してある。天然ガスストリーム 1201 は、第 1 の熱交換器 1205 に流入して部分的に凝縮されてからスクラブカラム 1202 に送られてカラムオーバヘッドストリーム 1203 とカラム下部ストリーム 1204 に分けられる。カラムオーバヘッドストリーム 1203 は、第 1 の熱交換器 1205 を通って流れて、部分的に凝縮され、二相ストリーム 1206 を形成する。二相ストリーム 1206 は、分離器 1207 に流入し、冷たい前処理ガスストリーム 1208 と液体ストリーム 1209 に分けられる。冷たい前処理ガスストリーム 1208 は、場合によってはジュール・トムソン ( J - T ) 弁 1208 a を通って流れてから、第 1 の熱交換器 1205 を通って流れ、そこでそれはカラムオーバヘッドストリーム 1203 と間接的に熱交換することによって温められて、前処理天然ガスストリーム 1210 を形成する。液体ストリーム 1209 は、ポンプ 1209 a 内で加圧されてから、カラム還流ストリームとしてスク

ラブカラム 1202 へ方向づけられ得る。リボイラー操作作用のストリッピングガスストリーム 1276 を天然ガスストリームから供給してよく；或いは、図 10 に示すようにリボイラーを用いてスクラブカラム用のストリッピングガスを供給してよい。

【0056】

前処理天然ガスストリーム 1210 は、HPC E モジュール 1012 に類似し、さらに述べない HPC E プロセスモジュール 1212 へのインプットである。HPC E プロセスモジュール 1212 のアウトプットは第 1 のチルド前処理ガスストリーム 1222 であり、これは冷媒ストリーム 1224 と非冷媒ストリーム 1225 に分けられる。冷媒ストリーム 1224 は、第 1 のチルド前処理ガスストリーム 1222 の 10% ~ 90%、又は 25% ~ 75%、又は 40% ~ 60% を含み得る。冷媒ストリーム 1224 は、再循環されて第 1 の熱交換器 1205 を通って流れ、カラムオーバヘッドストリーム 1203 と間接的に熱交換することによって温められ、それによって温められた冷媒ストリーム 1226 を形成する。温められた冷媒ストリーム 1226 は、非冷媒ストリーム 1225 と混ぜり合って第 2 のチルド前処理ガスストリーム 1227 を形成し得る。第 2 のチルド前処理ガスストリーム 1227 は、次に、例えば、供給ガスエキスパンダベース液化モジュール 1240 内で液化されて LNG ストリーム 1230 を生成することができる。1224 の温度が、熱交換器 1205 に十分な冷却エネルギーを与えるのに十分低くないときは、J-T 弁 1208a を使用する。

10

【0057】

図 13 は、天然ガスストリーム 1301 の前処理及び予冷の後に高圧圧縮及び膨張 (HPC E) プロセスモジュール 1312 (モジュール 1012、1112、及び 1212 に類似) 及び供給ガスエキスパンダベース液化モジュール 1340 (モジュール 1040、1140、及び 1240 に類似) が続いて LNG ストリーム 1330 を生成するための前処理装置 1300 を示す。装置 1300 は装置 1000 に類似し、類似要素には類似参照番号を付してある。装置 1000 と同様に、装置 1300 は、スクラブカラム 1302、第 1 の熱交換器 1305、及び分離器 1307 を含む。スクラブカラムに入る天然ガスストリーム 1301 の温度を制御するため、天然ガスストリーム 1301 のサイドストリーム 1311a を第 1 の熱交換器 1305 へ方向づけ、その中で冷却し、冷却された天然ガスストリーム 1311a を形成してよい。冷却された天然ガスストリーム 1311a は、図 13 に示すように、スクラブカラム 1302 の上流で天然ガスストリームと混ぜ合わせられて混合天然ガスストリーム 1301a を形成する。サイドストリームは、天然ガスストリーム 1301 / 1301a の温度及びスクラブカラムへの前記天然ガスストリームの所望投入温度に応じて、天然ガスストリーム 1301 の 1% ~ 100%、又は 10% ~ 90%、又は 25% ~ 75%、又は 40% ~ 60% を含み得る。

20

30

【0058】

混合天然ガスストリーム 1301a は、スクラブカラム 1302 に流入し、カラムオーバヘッドストリーム 1303 とカラム下部ストリーム 1304 に分けられる。カラムオーバヘッドストリーム 1303 は、第 1 の熱交換器 1305 を通って流れて部分的に凝縮され、二相ストリーム 1306 を形成する。二相ストリーム 1306 は分離器 1307 に流入し、冷たい前処理ガスストリーム 1308 と液体ストリーム 1309 に分けられる。冷たい前処理ガスストリーム 1308 は第 1 の熱交換器 1305 を通って流れ、カラムオーバヘッドストリーム 1303 と間接的に熱交換することによって温められ、それによって前処理天然ガスストリーム 1310 を形成する。液体ストリーム 1309 は、ポンプ (図示せず) 内で加圧されてから、カラム還流ストリームとしてスクラブカラム 1302 へ方向づけられ得る。リボイラー 1374 は、スクラブカラム 1302 の下部から引き出された液体の一部 1375 を加熱し、この加熱液体及び随伴ガスをスクラブカラムに戻し、それによってカラム用のストリッピングガス 1376 を作り出すことができる。或いは、前述したように、リボイラー操作作用のストリッピングガスストリームを天然ガスストリーム 1001 から供給してもよい。

40

【0059】

50

前処理天然ガスストリーム1310は、HPC Eプロセスモジュール1012に類似し、さらに述べないHPC Eプロセスモジュール1312へのインプットである。HPC Eプロセスモジュール1312のアウトプットはチルド前処理ガスストリーム1322であり、その全てが再循環されて第1の熱交換器1305を流れて、カラムオーバヘッドストリーム1303と間接的に熱交換することによって温められ、それによって温められた冷媒ストリーム1326を形成する。温められた冷媒ストリーム1326は、次に、例えば、供給ガスエキスパンダベース液化モジュール1340内で液化されて、LNGストリーム1330を生成し得る。モジュール1340は、モジュール1040に類似するのでさらに述べない。エキスパンダ1371を利用してLNGストリーム1330の圧力及び温度を下げ、貯蔵及び輸送に適した過冷却されたLNGストリームを生成することができる。

10

#### 【0060】

図14は、本開示の別の態様に従って天然ガスストリーム1401を前処理及び予冷した後、高圧圧縮及び膨張(HPC E)プロセスモジュール1412が続く前処理装置1400を示す。装置1400は装置1100に類似し、類似要素には類似参照番号を付してある。装置1100と同様に、装置1400は、スクラブカラム1402、第1の熱交換器1405、及び分離器1407を含む。天然ガスストリーム1401は、供給ガスエキスパンダ1478によって膨張させられ、冷却されて、膨張天然ガスストリーム1479を形成する。膨張天然ガスストリームは、スクラブカラム1402に流入し、カラムオーバヘッドストリーム1403とカラム下部ストリーム1404に分けられる。カラムオーバヘッドストリーム1403は、第1の熱交換器1405を流れて部分的に凝縮され、二相ストリーム1406を形成する。二相ストリーム1406は分離器1407に流入し、冷たい前処理ガスストリーム1408と液体ストリーム1409に分けられる。冷たい前処理ガスストリーム1408は第1の熱交換器1405を流れて、カラムオーバヘッドストリーム1403と間接的に熱交換することによって温められ、それによって前処理天然ガスストリーム1410を形成する。液体ストリーム1409は、ポンプ(図示せず)内で加圧されてから、カラム還流ストリームとしてスクラブカラム1402へ方向づけられ得る。リボイラー操作のストリップングガスストリーム1476を天然ガスストリーム1401から供給してよく; 或いは、図10に示ようにリボイラーを用いてスクラブカラム用のストリップングガスを供給してもよい。

20

30

#### 【0061】

前処理天然ガスストリーム1410は、供給ガス圧縮機1480内で圧縮されて、圧縮前処理天然ガスストリーム1481を形成し、これはHPC Eプロセスモジュール1412へのインプットである。HPC Eプロセスモジュール1412はHPC Eプロセスモジュール1012に類似し、さらに述べない。供給ガス圧縮機1480はガスタービンを動力源としてよく、或いは好ましくは、供給ガスエキスパンダ1478の電力出力を動力源としてよい。HPC Eプロセスモジュール1412のアウトプットはチルド前処理ガスストリーム1422であり、その全てが再循環されて第1の熱交換器1405を流れて、カラムオーバヘッドストリーム1403と間接的に熱交換することによって温められ、それによって温められた冷媒ストリーム1426を形成する。温められた冷媒ストリーム1426は、次に、例えば、供給ガスエキスパンダベース液化モジュール1140内で液化されて、LNGストリーム1430を生成する。モジュール1440はモジュール1040に類似し得るので、さらに述べない。エキスパンダ1471を利用して、LNGストリーム1430の圧力及び温度を下げ、それによって貯蔵及び輸送に適した過冷却されたLNGストリームを生成することができる。

40

#### 【0062】

スクラブカラムに入る天然ガスストリーム1401の温度を制御するため、天然ガスストリーム1401(又は膨張天然ガスストリーム1479)のサイドストリーム1411を第1の熱交換器1405へ方向づけて、その中で冷却し、冷却された天然ガスストリーム1411aを形成することができる。冷却された天然ガスストリーム1411aは、図

50

14に示すように、スクラブカラム1402の上流で天然ガストリームと混ぜ合わせられて混合天然ガストリーム1401aを形成する。サイドストリームは、天然ガストリーム1401/膨張天然ガストリーム1479の温度及びスクラブカラムへの天然ガストリームの所望投入温度に応じて、天然ガストリーム1401/膨張天然ガストリーム1479の1%~100%、又は10%~90%、又は25%~75%、又は40%~60%を含み得る。

【0063】

図15は、本開示の別の態様に従って天然ガストリーム1501を前処理及び予冷した後高圧圧縮及び膨張(HPCE)プロセスモジュール1512が続く前処理装置1500を示す。装置1500は、いくつかの点で装置1100に類似し、類似要素には類似参照番号を付してある。装置1100と同様に、装置1500はスクラブカラム1502及び第1の熱交換器1505を含むが、スクラブカラムからの冷却された蒸気ストリームが方向づけられる分離器を含まない。代わりに、天然ガストリーム1501のサイドストリーム1511が第1の熱交換器1505に方向づけられて、その中で冷却され、冷却された天然ガストリーム1511aを形成する。冷却された天然ガストリーム1511aは、図15に示すように、スクラブカラム1502の上流で天然ガストリームと混ぜ合わせられて混合天然ガストリーム1501aを形成する。サイドストリームは、天然ガストリーム1501の温度及びスクラブカラム1502への天然ガストリームの所望投入温度に応じて、天然ガストリーム1501の1%~100%、又は10%~90%、又は25%~75%、又は40%~60%を含み得る。混合天然ガストリーム1501aはスクラブカラム1502に流入し、分離天然ガストリームと称することもあるカラムオーバーヘッドストリーム1503とカラム下部ストリーム1504に分けられる。カラム下部ストリーム1504は安定化装置1584へ方向づけられる。安定化装置は、カラム下部ストリーム1504から軽質炭化水素を除去し、カラム下部ストリーム1504は安定化装置オーバーヘッドストリーム1586と安定化炭化水素液体ストリーム1585に分けられる。安定化炭化水素液体ストリーム1585は通常の貯蔵条件で安定性を示し、安定化凝縮物として売却可能である。安定化装置オーバーヘッドストリーム1586は、還流冷却器1587内で冷却され、還流分離器1588へ方向づけられ、そこでそれは還流液体ストリーム1589と再循環ガストリーム1590に分けられる。還流液体ストリーム1589は、ポンプ1589aで汲み出されることがあり、安定化装置1584に戻される。還流液体ストリームは、安定化装置内の上向流ガスからいずれの重質炭化水素をも洗い流す働きをする。再循環ガストリーム1590は、再循環圧縮機1591内で圧縮されて、圧縮再循環ガストリーム1592を形成する。開示態様によれば、再循環圧縮機1591は、HPCEプロセスモジュール1512内の圧縮機よりずっと小さい能力(例えば、0.5MW)を有する。言い換えれば、再循環圧縮機1591は、LNGプラントの総圧縮力の0.5%以下、又は0.5%超であるが、1%以下、又は1%超であるが、5%以下の圧縮能力を有し得る。圧縮再循環ガストリーム1592の第1の部分1593が第1の熱交換器1505を通り抜け、そこでそれは冷却されて部分的又は全体的に凝縮され、それによって冷却された圧縮再循環ガストリーム1594を形成する。この冷却された圧縮再循環ガストリーム1594は、カラム還流ストリームとしてスクラブカラム1502へ方向づけられる。ライン1594に還流ドラム(図示せず)を設置して、スクラブカラムに入るカラム還流ストリームにバッファを与えることができる。リボイラー操作用のストリップングガストリーム1576を天然ガストリーム1001から供給してよく;或いは、図10に示すようにリボイラーを用いてスクラブカラム用のストリップングガスを供給してもよい。

【0064】

カラムオーバーヘッドストリーム1503は第1の熱交換器1505を通過して流れ、それによって前処理天然ガストリーム1510を形成する。前処理天然ガストリーム1510は、圧縮再循環ガストリーム1592の第2の部分1592aと混ぜ合わせられ、HPCEプロセスモジュール1012に類似し、さらに述べないHPCEプロセスモジュ

10

20

30

40

50

ール1512に投入される。HPCEプロセスモジュール1512のアウトプットはチルド前処理ガストリーム1522であり、その全てが再循環されて第1の熱交換器1505を流れて、第1の部分1593と間接的に熱交換することによって温められ、それによって温められた冷媒ストリーム1526を形成する。温められた冷媒ストリーム1526は、次に、例えば、供給ガスエキスパンダベース液化モジュール1540内で、液化されてLNGストリーム1530を生成することができる。モジュール1540は、図10のモジュール1040に類似し得るので、さらに述べない。

#### 【0065】

図16は、本開示の別の態様に従って天然ガストリーム1601を前処理及び予冷した後、高圧圧縮及び膨張(HPCE)プロセスモジュール1612が続く前処理装置1600を示す。装置1600はいくつかの点で装置1500に類似し、類似要素には類似参照番号を付してある。装置1500と同様に、装置1600はスクラブカラム1602及び第1の熱交換器1605を含むが、スクラブカラムからの冷却された蒸気ストリームが方向づけられる分離器を含まない。代わりに、天然ガストリーム1601のサイドストリーム1611を第1の熱交換器1605に方向づけてその中で冷却し、冷却された天然ガストリーム1611aを形成することができる。冷却された天然ガストリーム1611aは、図16に示すようにスクラブカラム1602の上流で天然ガストリームと混ぜ合わせられて混合天然ガストリーム1601aを生成する。サイドストリームは、天然ガストリーム1601の温度及びスクラブカラム1602への天然ガストリームの所望投入温度に応じて、天然ガストリーム1601の1%~100%、又は10%~90%、又は25%~75%、又は40%~60%を含み得る。混合天然ガストリーム1601aはスクラブカラム1602に流入し、分離天然ガストリームと称することもあるカラムオーバーヘッドストリーム1603とカラム下部ストリーム1604に分けられる。カラム下部ストリーム1604は安定化装置1684へ方向づけられる。安定化装置は、カラム下部ストリーム1604から軽質炭化水素を除去し、カラム下部ストリーム1604は安定化装置オーバーヘッドストリーム1686と安定化炭化水素液体ストリーム1685に分けられる。安定化炭化水素液体ストリーム1685は、通常の貯蔵条件で安定性を示し、安定化凝縮物として売却可能である。安定化装置オーバーヘッドストリーム1686は還流冷却器1687内で冷却され、還流分離器1688へ方向づけられ、そこでそれは還流液体ストリーム1689と再循環ガストリーム1690に分けられる。還流液体ストリーム1689は、ポンプ1689aで汲み出されることがあり、安定化装置1684に戻される。還流液体ストリームは、安定化装置内で上向流ガスからいずれの重質炭化水素をも洗い流す働きをする。再循環ガストリーム1690は、再循環圧縮機1691内で圧縮されて、圧縮再循環ガストリーム1692を形成する。開示態様によれば、再循環圧縮機1691は、HPCEプロセスモジュール1612内の圧縮機よりずっと小さい能力(例えば、0.5MW)を有する。言い換えれば、再循環圧縮機1691は、LNGプラントの総圧縮力の0.5%以下、又は0.5%超であるが1%以下、又は1%超であるが5%以下の圧縮能力を有し得る。圧縮再循環ガストリーム1692の第1の部分1693は第1の熱交換器1605を通り抜け、そこでそれは冷却されて部分的又は全体的に凝縮され、それによって冷却された圧縮再循環ガストリーム1694を形成する。この冷却された圧縮再循環ガストリーム1694は、カラム還流ストリームとしてスクラブカラム1602へ方向づけられる。ライン1694に還流ドラム(図示せず)を設置して、スクラブカラムに入るカラム還流ストリームにパufferを与えてよい。リボイラー操作のストリップングガストリーム1676を天然ガストリーム1001から供給してよく;或いは、図10に示すようにリボイラーを用いてスクラブカラム用のストリップングガスを供給してもよい。

#### 【0066】

カラムオーバーヘッドストリーム1603の圧力は、ジュール・トムソン弁1603a等の圧力低減デバイスを用いて下げられ、カラムオーバーヘッドストリーム1603は次に第1の熱交換器1605を流れて、それによって前処理天然ガストリーム1610を

10

20

30

40

50

形成する。前処理天然ガストリーム1610は、圧縮再循環ガストリーム1692の第2の部分1692aと混ぜ合わせられ、供給ガス圧縮機1680内で圧縮されて、圧縮前処理天然ガストリーム1681を形成する。供給ガス圧縮機1680はタービン駆動又はモーター駆動であってよい。圧縮前処理天然ガストリーム1681は第2の熱交換器1619を通して流れて周囲環境と間接的に熱交換することによって冷却されて、冷却された高圧ガストリーム1622を形成することができる。第2の熱交換器は空冷熱交換器又は水冷熱交換器であってよい。ジュール・トムソン弁1603aはカラムオーバヘッドストリーム1603の圧力を下げるので、図15で開示するようにエキスパンダ(例えばエキスパンダ1021)を必要としない。代わりに、冷却された高圧ガストリーム1622は、例えば、供給ガスエキスパンダベース液化モジュール1640内で液化されてLNGストリーム1630を生成する。モジュール1640は、図10のモジュール1040に類似し得るので、さらに述べない。或いは、図17に示すように、冷却された高圧ガストリーム1622を液化モジュール1640内で液化する前にHPCEモジュール1712を利用して前処理天然ガストリーム1610を圧縮及び冷却することができる。HPCEモジュール1712は、HPCEモジュール1012に構造が類似するので、さらに述べない。

10

#### 【0067】

状況次第で、圧縮再循環ガストリームの第1の部分1693がカラムオーバヘッドストリーム1603より高い濃度の重質炭化水素(すなわち、C<sub>5+</sub>)を有することがあり、このような場合、カラムオーバヘッドストリーム1603の圧力をジュール・トムソン弁1603aで下げる必要がないことに留意すべきである。開示態様は、ジュール・トムソン弁1603aを排除することがあり、或いは、必要に応じてジュール・トムソン弁を選択的にバイパスする弁バイパスライン1603bを含めることがある。

20

#### 【0068】

図15~17に開示し、上述した態様は、小型の追加圧縮機(例えば、1591、1691)を必要とすることがあり、超リーンガス(すなわち2%未満の混入物)に対しては良く働かない可能性があるが、図15~17に開示した態様は、種々の他の態様より高いLNG生産量を提供する。さらに、図10~14に参照番号1007、1107、1207、1307、1407で示す分離器は、図15~17において、スクラブカラム1502、1602と関連する前にストリーム1594、1694を受け取る還流ドラム(図示せず)として使用可能である。該還流ドラムは、スクラブカラムに供給する還流液体に緩衝時間及び制御を与える。図16ではスクラブカラム用の還流ストリームを得るために、他の開示態様には示さないとはいえ、いずれの開示態様でも使用し得る、安定ストリームとして安定化凝縮物を生成するための安定化装置をさらに利用する。

30

#### 【0069】

図10~17に示し、本明細書に記載の態様は、天然ガスを液化するために使用できる技術例として供給ガスエキスパンダベース液化技術又はトレインを利用した。しかしながら、開示態様は、他のタイプの液化トレイン又は技術、例えば単一混合冷媒(SMR)、二元混合冷媒(DMR)、窒素を用いるエキスパンダベース技術、又は他の液化技術の利用時と同等に有効である。該液化技術は、開示態様の範囲内に入ると考えられる。さらに、本明細書で開示する態様は、いずれのLNG液化ロケーションにも使用することができる。それらは海洋液化、陸上遠隔設備等のようなLNG液化のためのスペースが限られている状況に特に優れた有用性を有する。さらに、いずれの開示態様も、例えば、図11に1124bで示すジュール・トムソン弁を用いて再循環冷媒ストリームの一部又は全ての圧力及び温度を下げることによって引き起こされる第1の熱交換器の追加冷却を実現することができる。

40

#### 【0070】

図17は、開示態様に従って天然ガストリームから液化天然ガス(LNG)を生産する方法1700を示す流れ図である。ブロック1702で、天然ガストリームの一部が第1の熱交換器内で冷却されて、冷却された天然ガストリームを生成する。ブロック1

50

704で、冷却された天然ガスストリームと天然ガスストリームが混ぜ合わせられて混合天然ガスストリームを生成し、それから重質炭化水素が除去され、それによって分離天然ガスストリームが生成される。ブロック1706で、分離天然ガスストリームが第1の熱交換器内で部分的に凝縮され、それによって部分的に凝縮された天然ガスストリームを生成し、それから液体が分離され、それによって冷たい前処理ガスストリーム及び液体ストリームが生成される。ブロック1708で、冷たい前処理ガスストリームが第1の熱交換器内で温められてから、少なくとも1つの圧縮機内で少なくとも1,500psia(10,340kPa)の圧力まで圧縮されて、圧縮天然ガスストリームを形成する。ブロック1710で、圧縮天然ガスストリームが冷却されて、冷却された圧縮天然ガスストリームを形成し、これは、少なくとも1つのワーク生成天然ガスエキスパンダ内で、2,000psia(13,790kPa)未満であり、かつ少なくとも1つの圧縮機が前処理天然ガスストリームを圧縮する圧力以下である圧力まで膨張させられ、それによってチルド天然ガスストリームを形成する。ブロック1712で、チルド天然ガスストリームが冷媒ストリームと非冷媒ストリームに分けられ、冷媒ストリームは再循環されて、第1の熱交換器内で、天然ガスストリームの少なくとも一部、分離天然ガスストリーム、及び冷たい前処理ガスストリームを含む1以上のプロセスストリームと熱交換し、それによって温められた冷媒ストリームを生成する。ブロック1714で、温められた冷媒ストリーム及び非冷媒ストリームが液化されてLNGを形成する。

10

#### 【0071】

図18は、開示態様に従って天然ガスストリームから液化天然ガス(LNG)を生産する方法1800の流れ図である。ブロック1802で、天然ガスストリームが第1の熱交換器内で冷却されて、冷却された天然ガスストリームを生成する。ブロック1804で、冷却された天然ガスストリームから重質炭化水素が除去され、それによって分離天然ガスストリームが生成される。ブロック1806で、分離天然ガスストリームが、第1の熱交換器内で部分的に凝縮され、それによって部分的に凝縮された天然ガスストリームを生成し、それから液体が除去され、それによって冷たい前処理ガスストリーム及び液体ストリームが生成される。ブロック1808で、冷たい前処理ガスストリームが第1の熱交換器内で温められてから、少なくとも1つの圧縮機内で少なくとも1,500psia(10,340kPa)の圧力まで圧縮されて、圧縮天然ガスストリームを形成する。ブロック1810で、圧縮天然ガスストリームが冷却されて、冷却された圧縮天然ガスストリームを形成し、これが少なくとも1つのワーク生成天然ガスエキスパンダ内で、2,000psia(13,790kPa)未満であり、かつ少なくとも1つの圧縮機が前処理天然ガスストリームを圧縮する圧力以下である圧力まで膨張させられ、それによってチルド天然ガスストリームを形成する。ブロック1812で、チルド天然ガスストリームが冷媒ストリームと非冷媒ストリームに分けられ、冷媒ストリームは再循環されて、天然ガスストリーム、分離天然ガスストリーム、及び冷たい前処理ガスストリームを含む1以上のプロセスストリームと熱交換し、それによって温められた冷媒ストリームを生成する。ブロック1814で、温められた冷媒ストリーム及び非冷媒ストリームが液化されてLNGを形成する。

20

30

#### 【0072】

図19は、開示態様に従って天然ガスストリームから液化天然ガス(LNG)を生産する方法1900を示す流れ図である。ブロック1902で、天然ガスストリームの一部が第1の熱交換器内で冷却されて、冷却された天然ガスストリームを生成する。ブロック1904で、冷却された天然ガスストリームと天然ガスストリームが混ぜ合わせられて混合天然ガスストリームを生成し、それから重質炭化水素が除去され、それによって分離天然ガスストリームが生成される。ブロック1906で、分離天然ガスストリームが第1の熱交換器内で部分的に凝縮され、それによって部分的に凝縮された天然ガスストリームを生成し、それから液体が分離され、それによって冷たい前処理ガスストリーム及び液体ストリームが生成される。ブロック1908で、冷たい前処理ガスストリームが第1の熱交換器内で温められてから、少なくとも1つの圧縮機内で少なくとも1,500psia(1

40

50

0, 340 kPa)の圧力まで圧縮されて、圧縮天然ガスストリームを形成する。ブロック1910で、圧縮天然ガスストリームが冷却されて、冷却された圧縮天然ガスストリームを形成し、これは、少なくとも1つのワーク生成天然ガスエキスパンダ内で、2,000 psia (13,790 kPa)未満であり、かつ少なくとも1つの圧縮機が前処理天然ガスストリームを圧縮する圧力以下である圧力まで膨張させられ、それによってチルド天然ガスストリームを形成する。ブロック1912で、チルド天然ガスストリームが再循環され、天然ガスストリームの一部、分離天然ガスストリーム、及び冷たい前処理ガスストリームを含む1以上のプロセスストリームとの熱交換によって温められた冷媒ストリームを生成する。ブロック1914で、温められた冷媒ストリームが液化されてLNGを形成する。

10

#### 【0073】

図20は、開示態様に従って天然ガスストリームから液化天然ガス(LNG)を生産する方法2000を示す流れ図である。ブロック2002で、天然ガスストリームの一部が第1の熱交換器内で冷却されて、冷却された天然ガスストリームを生成する。ブロック2004で、冷却された天然ガスストリームと天然ガスストリームが混ぜ合わせられて混合天然ガスストリームを生成し、それから分離器内で重質炭化水素が除去され、それによって分離天然ガスストリーム及び分離器下部ストリームが生成される。ブロック2006で、分離器下部ストリームから液体が分離されてオーバーヘッドストリームが生成され、これが冷却及び分離されて再循環ガスストリームを形成する。ブロック2008で、再循環ガスストリームが再循環圧縮機内で圧縮されて、圧縮再循環ガスストリームを形成する。ブロック2010で、圧縮再循環ガスストリームの第1の部分が第1の熱交換器の中を通され、それから冷却された圧縮再循環ストリームが形成され、この冷却された圧縮再循環ストリームはカラム還流ストリームとして分離器へ方向づけられる。ブロック2012で、分離天然ガスストリームが第1の熱交換器内で冷却剤として使用され、それによって前処理天然ガスストリームを生成する。ブロック2014で、圧縮再循環ガスストリームの第2の部分と前処理天然ガスストリームが、少なくとも1つの圧縮機内で少なくとも1,500 psia (10,340 kPa)の圧力まで圧縮されて、圧縮天然ガスストリームを形成し、この圧縮天然ガスストリームが冷却されて、冷却された圧縮天然ガスストリームを形成する。ブロック2016で、冷却された圧縮天然ガスストリームが、少なくとも1つのワーク生成天然ガスエキスパンダ内で、2,000 psia (13,790 kPa)未満であり、かつ少なくとも1つの圧縮機が前処理天然ガスストリームを圧縮する圧力以下である圧力まで膨張させられ、それによってチルド前処理ガスストリームを形成する。ブロック2018で、チルド前処理ガスストリームが再循環されて、天然ガスストリームの少なくとも一部、分離天然ガスストリーム、及び圧縮再循環ガスストリームの第1の部分を含む1以上のプロセスストリームと熱交換し、それによって温められた冷媒ストリームを生成する。ブロック2020で、温められた冷媒ストリームが液化されてLNGを形成する。

20

30

#### 【0074】

図21は、開示態様に従って天然ガスストリームから液化天然ガス(LNG)を生産する方法2100を示す流れ図である。ブロック2102で、天然ガスストリームの一部が第1の熱交換器内で冷却されて、冷却された天然ガスストリームを生成する。ブロック2104で、冷却された天然ガスストリームと天然ガスストリームが混ぜ合わせられて混合天然ガスストリームを生成し、それから分離器内で重質炭化水素が除去され、それによって分離天然ガスストリーム及び分離器下部ストリームが生成される。ブロック2106で、分離器下部ストリームから液体が分離されてオーバーヘッドストリームが形成され、これが冷却及び分離されて再循環ガスストリームを形成する。ブロック2108で、再循環ガスストリームが再循環圧縮機内で圧縮されて、圧縮再循環ガスストリームを形成する。ブロック2110で、圧縮再循環ガスストリームの第1の部分が第1の熱交換器の中を通され、それから冷却された圧縮再循環ストリームが形成され、この冷却された圧縮再循環ストリームはカラム還流ストリームとして分離器へ方向づけられる。ブロック2112で

40

50

、分離天然ガスストリームの圧力及び温度が圧力低減デバイス内で下げられ、この分離天然ガスストリームは、次に第1の熱交換器内で冷却剤として使用され、それによって前処理天然ガスストリームを生成する。ブロック2114で、圧縮再循環ガスストリームの第2の部分及び前処理天然ガスストリームが供給圧縮機内で少なくとも1,500 psia (10,340 kPa)の圧力まで圧縮されて、圧縮天然ガスストリームを形成し、これが冷却されて、冷却された高圧ガスストリームを形成する。ブロック2116で、冷却された高圧ガスストリームが液化されてLNGを形成する。

【0075】

前述のものは本開示の態様に関するものであるが、本開示の基本範囲から逸脱することなく、本開示の他のさらなる態様を考案することができ、本開示の範囲は、以下の特許請求の範囲によって決まる。

10

本発明は、以下のように捉えることも可能である。

(付記1)

天然ガスストリームから液化天然ガス(LNG)を生産する方法であって、下記：

前記天然ガスストリームの少なくとも一部を第1の熱交換器内で冷却して、冷却された天然ガスストリームを生成すること；

前記冷却された天然ガスストリームと前記天然ガスストリームの残りの部分を混ぜ合わせて、混合天然ガスストリームを生成すること；

前記混合天然ガスストリームから重質炭化水素を除去し、それによって分離天然ガスストリームを生成すること；

20

前記分離天然ガスストリームを前記第1の熱交換器内で部分的に凝縮し、それによって部分的に凝縮された天然ガスストリームを生成すること；

前記部分的に凝縮された天然ガスストリームから液体を分離し、それによって冷たい前処理ガスストリーム及び液体ストリームを生成すること；

前記冷たい前処理ガスストリームを前記第1の熱交換器内で温めて、前処理天然ガスストリームを生成すること；

前記前処理天然ガスストリームを少なくとも1つの圧縮機内で、少なくとも1,500 psiaの圧力まで圧縮して、圧縮天然ガスストリームを形成すること；

前記圧縮天然ガスストリームを冷却して、冷却された圧縮天然ガスストリームを形成すること；

30

少なくとも1つのワーク生成天然ガスエキスパンダ内で、2,000 psia未満であり、かつ前記少なくとも1つの圧縮機が前記前処理天然ガスストリームを圧縮する圧力以下である圧力まで前記冷却された圧縮天然ガスストリームを膨張させ、それによってチルド天然ガスストリームを形成すること；

前記チルド天然ガスストリームを冷媒ストリームと非冷媒ストリームに分けること；

前記冷媒ストリームを再循環させて、前記第1の熱交換器内で、少なくとも、前記天然ガスストリームの前記少なくとも一部、前記分離天然ガスストリーム、及び前記冷たい前処理ガスストリームを含む1以上のプロセスストリームと熱交換させ、それによって温められた冷媒ストリームを生成すること；

前記温められた冷媒ストリームと前記非冷媒ストリームを混ぜ合わせて、チルド前処理ガスストリームを形成すること；及び

40

前記チルド前処理天然ガスストリームを液化してLNGを形成することを含む、前記方法。

(付記2)

前記重質炭化水素が、スクラブカラム内で前記混合天然ガスストリームから除去され、さらに、

前記液体ストリームをカラム還流ストリームとして前記スクラブカラムへ方向づけることを含む、付記1に記載の方法。

(付記3)

さらに、

50

前記スクラブカラムから液体を引き出すこと；

前記液体をリボイラー内で加熱してストリップングガスを生成すること；及び

前記ストリップングガスを前記スクラブカラムの下部に挿入すること

を含む、付記 2 に記載の方法。

(付記 4)

前記少なくとも 1 つの圧縮機が、3,000 p s i a 超の圧力まで前記天然ガスストリームを圧縮し、前記ワーク生成天然ガスエキスパンダが、前記冷却された圧縮天然ガスストリームを 2,000 p s i a 未満の圧力まで膨張させる、付記 1 ~ 3 のいずれか 1 項に記載の方法。

(付記 5)

前記少なくとも 1 つの圧縮機が、少なくとも 2 つの並列に配置された圧縮機を含み、前記少なくとも 1 つの圧縮機の 1 つが、前記天然ガスエキスパンダによって駆動される、付記 1 ~ 4 のいずれか 1 項に記載の方法。

(付記 6)

さらに、

前記冷媒ストリームの一部の圧力及び温度を下げて、さらに冷却された冷媒ストリームを生成すること；

前記第 1 の熱交換器を通して前記 1 以上のプロセスストリームを冷却し、それによって温められたサイドストリームを生成するように、前記さらに冷却された冷媒ストリームを方向づけること；及び

前記温められたサイドストリームを前記前処理天然ガスストリームと混ぜ合わせることを含む、付記 1 ~ 5 のいずれか 1 項に記載の方法。

(付記 7)

前記天然ガスストリームの前記少なくとも一部が前記天然ガスストリームの全てを含む、付記 1 ~ 6 のいずれか 1 項に記載の方法。

(付記 8)

天然ガスストリームの液化装置であって、

前記天然ガスストリームの少なくとも一部を冷却して、冷却された天然ガスストリームを生成する第 1 の熱交換器；

前記冷却された天然ガスストリームと混ぜ合わせた前記天然ガスストリームの残りの部分から重質炭化水素を除去し、それによって分離天然ガスストリームを生成するように構成された第 1 の分離デバイス、ここで、前記第 1 の熱交換器は、前記分離天然ガスストリームを部分的に凝縮して、部分的に凝縮された天然ガスストリームを形成する；

前記部分的に凝縮された天然ガスストリームから液体を分離し、それによって冷たい前処理ガスストリーム及び液体ストリームを生成する第 2 の分離デバイス、ここで、前記冷たい前処理ガスストリームは、前記第 1 の熱交換器内で温められて、前処理天然ガスストリームを生成する；

1,500 p s i a 超の圧力まで前記前処理天然ガスストリームを圧縮し、それによって圧縮天然ガスストリームを形成するように構成された少なくとも 1 つの圧縮機；

前記圧縮天然ガスストリームを冷却し、それによって冷却された圧縮天然ガスストリームを形成するように構成された冷却要素；

2,000 p s i a 未満であり、かつ前記少なくとも 1 つの圧縮機が前記前処理天然ガスストリームを圧縮する圧力以下である圧力まで前記冷却された圧縮天然ガスストリームを膨張させ、それによってチルド天然ガスストリームを形成するように構成された少なくとも 1 つのワーク生成エキスパンダ；

ここで、前記チルド天然ガスストリームは、冷媒ストリームと非冷媒ストリームに分けられ、前記冷媒ストリームは、再循環されて前記第 1 の熱交換器内で、前記天然ガスストリームの前記部分、前記分離天然ガスストリーム、及び前記冷たい前処理天然ガスストリームを含む 1 以上のプロセスストリームと熱交換し、それによって温められた冷媒ストリームを生成し、前記温められた冷媒ストリームと前記前処理天然ガスストリームが混ぜ合

10

20

30

40

50

わせられてチルド前処理ガスストリームを形成する；及び

前記チルド前処理ガスストリームを液化するように構成された少なくとも1つの液化ユニット

を含む、前記装置。

(付記9)

前記第1の分離デバイスがスクラブカラムであり、前記液体ストリームがカラム還流ストリームとして前記スクラブカラムへ方向づけられる、付記8に記載の装置。

(付記10)

前記少なくとも1つの圧縮機が、少なくとも2つの並列に配置された圧縮機を含み、前記少なくとも2つの並列に配置された圧縮機の1つが、前記天然ガスエキスパンダによって駆動される、付記8又は付記9に記載の装置。

10

(付記11)

さらに、

前記冷媒ストリームの一部の温度及び圧力を下げて、さらに冷却された冷媒ストリームを生成するためのデバイスを含み、

このさらに冷却された冷媒ストリームは、前記第1の熱交換器の中を通して前記1以上のプロセスストリームを冷却し、それによって温められたサイドストリームを生成し；

前記温められたサイドストリームは前記前処理天然ガスストリームと混ぜ合わせられる、付記8～10のいずれか1項に記載の装置。

(付記12)

20

前記冷たい前処理ガスストリームの圧力を下げることをさらに含む、付記8～11のいずれか1項に記載の方法。

(付記13)

天然ガスストリームから液化天然ガス(LNG)を生産する方法であって、

前記天然ガスストリームの一部を第1の熱交換器内で冷却して、冷却された天然ガスストリームを生成すること；

前記冷却された天然ガスストリームと前記天然ガスストリームの残りの部分を混ぜ合わせて、混合天然ガスストリームを生成すること；

前記混合天然ガスストリームから重質炭化水素を除去し、それによって分離天然ガスストリームを生成すること；

30

前記分離天然ガスストリームを前記第1の熱交換器内で部分的に凝縮し、それによって部分的に凝縮された天然ガスストリームを生成すること；

前記部分的に凝縮された天然ガスストリームから液体を分離し、それによって冷たい前処理ガスストリーム及び液体ストリームを生成すること；

前記冷たい前処理ガスストリームを前記第1の熱交換器内で温めて、前処理天然ガスストリームを生成すること；

前記前処理天然ガスストリームを少なくとも1つの圧縮器内で少なくとも1,500 psia (10,340 kPa)の圧力まで圧縮して、圧縮天然ガスストリームを形成すること；

前記圧縮天然ガスストリームを冷却して、冷却された圧縮天然ガスストリームを形成すること；

40

少なくとも1つのワーク生成天然ガスエキスパンダ内で、2,000 psia未満であり、かつ前記少なくとも1つの圧縮機が前記前処理天然ガスストリームを圧縮する圧力以下である圧力まで前記冷却された圧縮天然ガスストリームを膨張させ、それによってチルド天然ガスストリームを形成すること；

前記チルド天然ガスストリームを再循環させ、前記天然ガスストリームの前記部分、前記分離天然ガスストリーム、及び前記冷たい前処理ガスストリームを含む1以上のプロセスストリームとの熱交換によって、温められた冷媒ストリームを生成すること；及び

前記温められた冷媒ストリームを液化してLNGを形成すること

を含む、前記方法。

50

(付記 1 4)

前記重質炭化水素がスクラブカラム内で前記天然ガスストリームから分離され、かつ前記液体ストリームをカラム還流ストリームとして前記スクラブカラムへ方向づけることをさらに含む、付記 1 3 に記載の方法。

(付記 1 5)

さらに、

前記重質炭化水素が前記天然ガスストリームから除去される前に、供給ガスエキスパンダ内で前記天然ガスストリームを膨張させ、冷却すること；及び

前記前処理天然ガスストリームが前記少なくとも 1 つの圧縮機内で圧縮される前に、供給ガス圧縮機内で前記前処理天然ガスストリームを圧縮することを含む、付記 1 3 又は付記 1 4 に記載の方法。

10

(付記 1 6)

さらに、

前記供給ガス圧縮機が、前記供給ガスエキスパンダの電力出力を動力源とする、付記 1 5 に記載の方法。

(付記 1 7)

天然ガスストリームの液化装置であって、

前記天然ガスストリームの一部を冷却して、冷却された天然ガスストリームを生成する第 1 の熱交換器；

前記冷却された天然ガスストリームと混ぜ合わせた前記天然ガスストリームから重質炭化水素を除去し、それによって分離天然ガスストリームを生成するように構成された第 1 の分離デバイス、ここで、前記第 1 の熱交換器は、前記分離天然ガスストリームを部分的に凝縮して、部分的に凝縮された天然ガスストリームを形成する；

20

前記部分的に凝縮された天然ガスストリームから液体を分離し、それによって冷たい前処理ガスストリーム及び液体ストリームを生成する第 2 の分離デバイス、ここで、前記冷たい前処理ガスストリームは、前記第 1 の熱交換器内で温められて前処理天然ガスストリームを生成する；

1, 5 0 0 p s i a 超の圧力まで前記前処理天然ガスストリームを圧縮し、それによって圧縮天然ガスストリームを形成するように構成された少なくとも 1 つの圧縮機；

前記圧縮天然ガスストリームを冷却し、それによって冷却された圧縮天然ガスストリームを形成するように構成された冷却要素；

30

2, 0 0 0 p s i a 未満であり、かつ前記少なくとも 1 つの圧縮機が前記前処理天然ガスストリームを圧縮する圧力以下である圧力まで前記冷却された圧縮天然ガスストリームを膨張させ、それによってチルド天然ガスストリームを形成するように構成された少なくとも 1 つのワーク生成エキスパンダ；

ここで、前記チルド天然ガスストリームは、再循環されて、前記第 1 の熱交換器内で、前記天然ガスストリームの前記部分、前記分離天然ガスストリーム、及び前記冷たい前処理ガスストリームを含む 1 以上のプロセスストリームと熱交換し、それによって温められた冷媒ストリームを生成する；及び

前記温められた冷媒ストリームを液化するように構成された少なくとも 1 つの液化ユニット

40

を含む、前記装置。

(付記 1 8)

前記重質炭化水素が、前記第 1 の分離デバイス内で前記天然ガスストリームから除去され、前記液体ストリームが、カラム還流ストリームとして前記第 1 の分離デバイスへ方向づけられる、付記 1 7 に記載の装置。

(付記 1 9)

さらに、

前記重質炭化水素が前記天然ガスストリームから除去される前に、前記天然ガスストリームを膨張させ、冷却する供給ガスエキスパンダ；及び

50

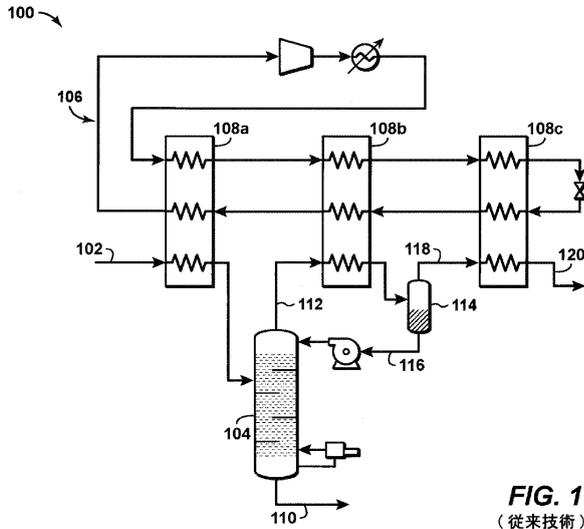
前記前処理天然ガストリームが前記少なくとも1つの圧縮機内で圧縮される前に、前記前処理天然ガストリームを圧縮する供給ガス圧縮機を含む、付記17又は付記18に記載の装置。

(付記20)

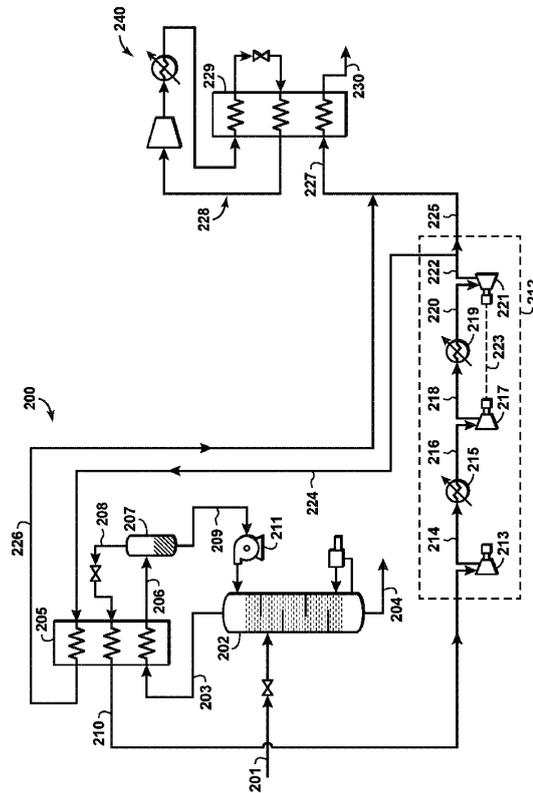
前記供給ガス圧縮機が、前記供給ガスエキスパンダの電力出力を動力源とする、付記19に記載の装置。

【図面】

【図1】



【図2】



10

20

30

40

50

【図3】

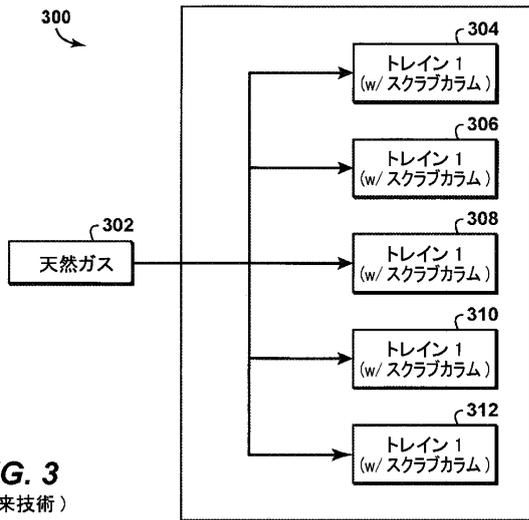


FIG. 3 (従来技術)

【図4】

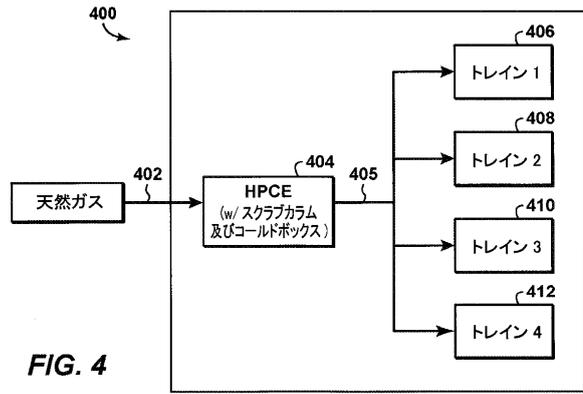


FIG. 4

【図5】

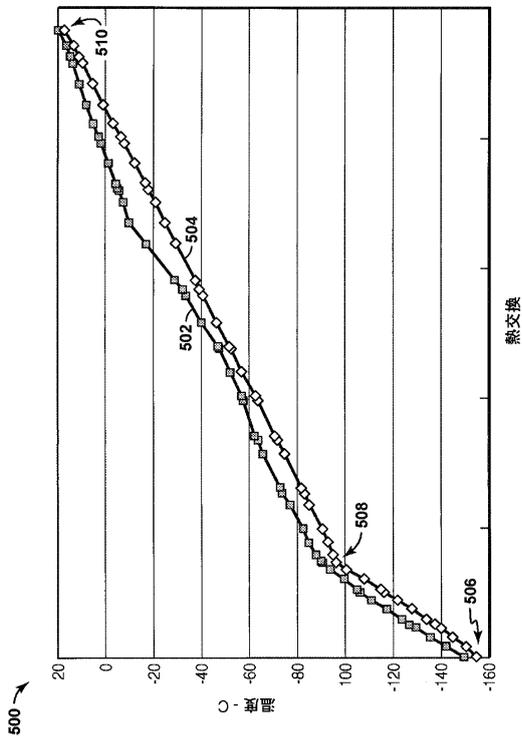


FIG. 5

【図6】

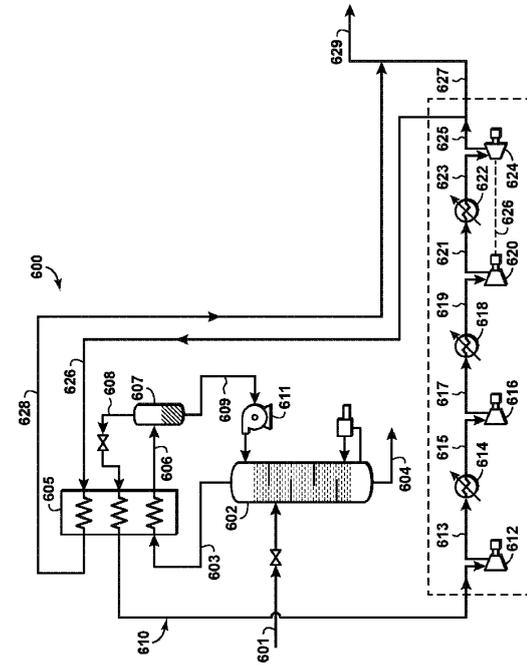


FIG. 6

10

20

30

40

50



【 図 1 1 】

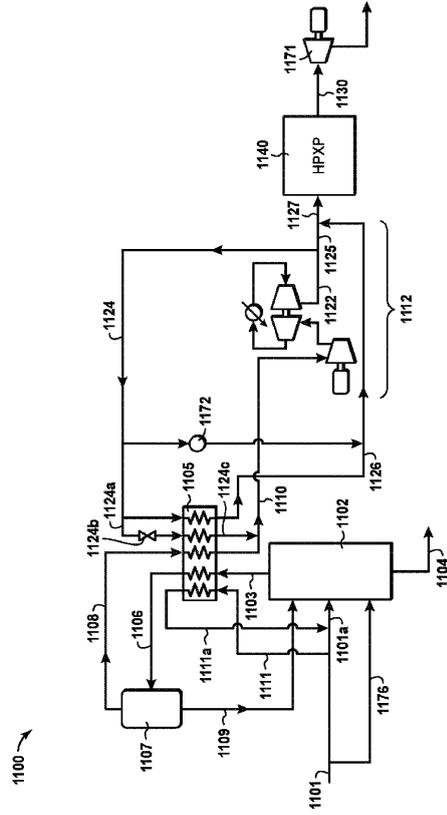


FIG. 11

【 図 1 2 】

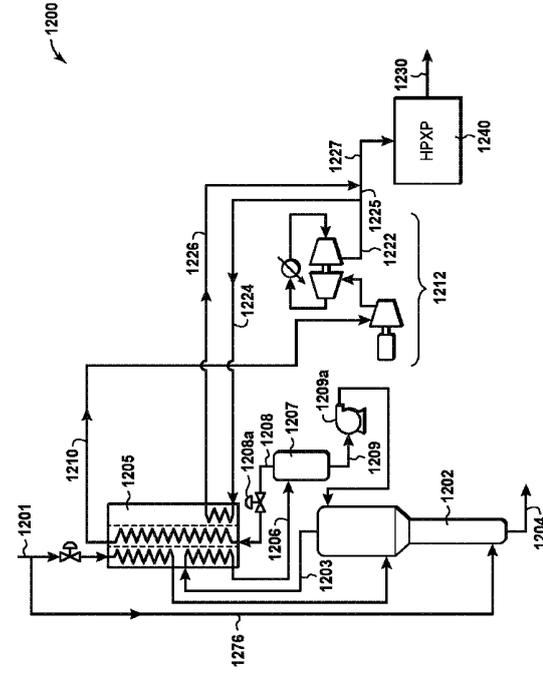


FIG. 12

【 図 1 3 】

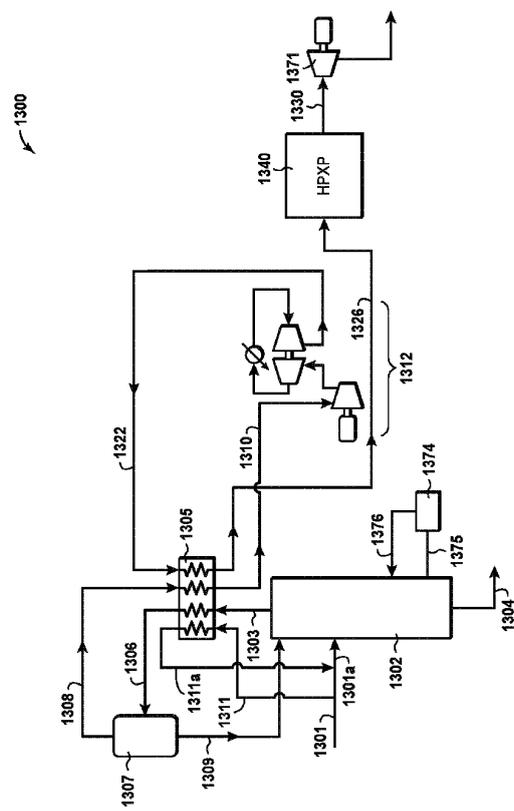


FIG. 13

【 図 1 4 】

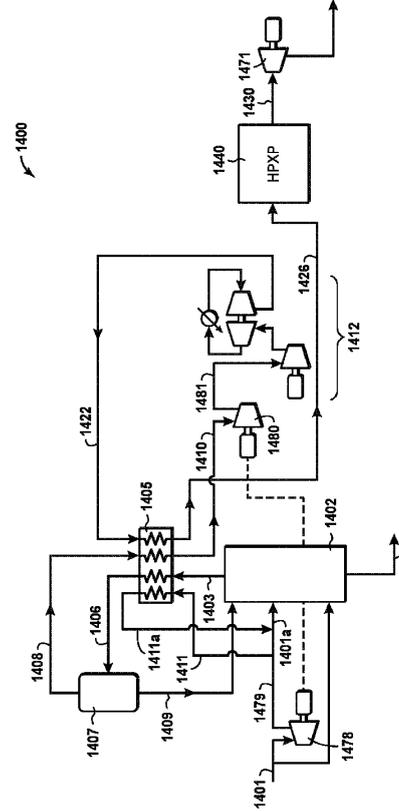


FIG. 14

10

20

30

40

50

【 図 1 5 】

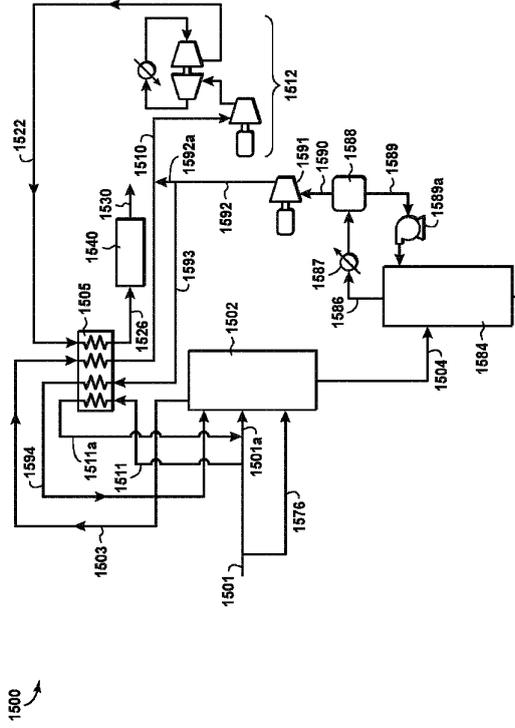


FIG. 15

【 図 1 6 A 】

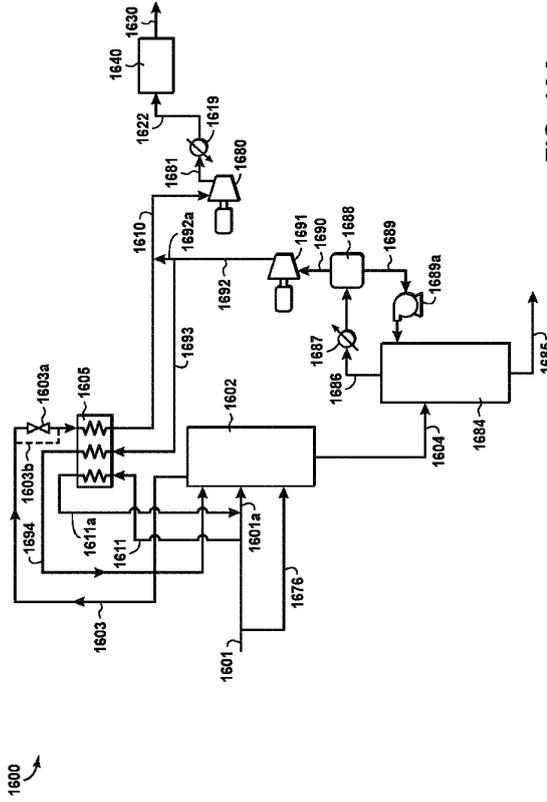


FIG. 16A

【 図 1 6 B 】

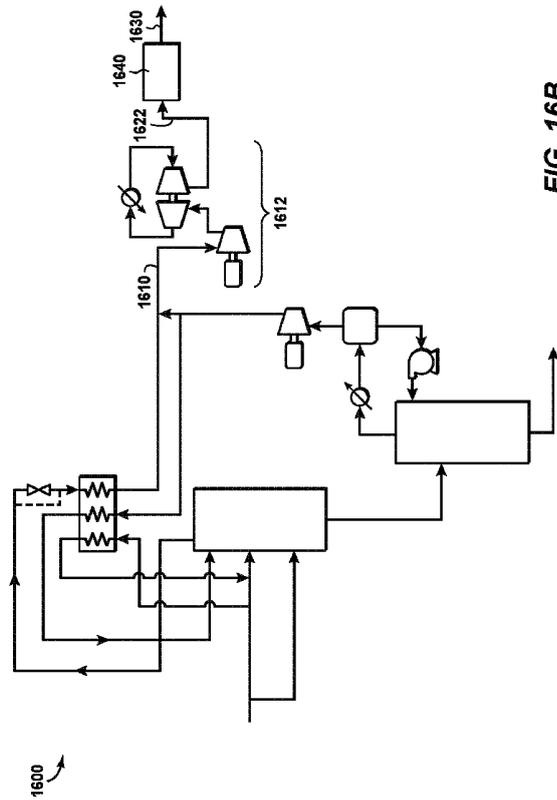


FIG. 16B

【 図 1 7 】

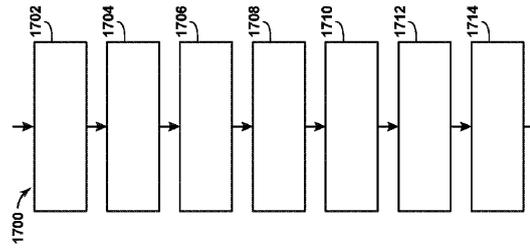


FIG. 17

10

20

30

40

50

【 18 】

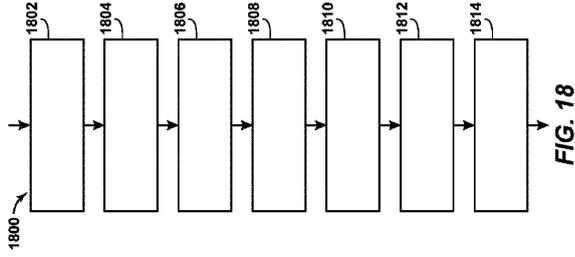


FIG. 18

【 19 】

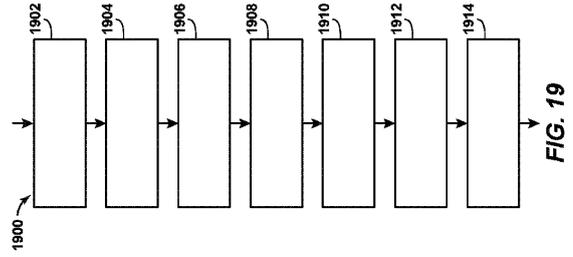


FIG. 19

【 20 】

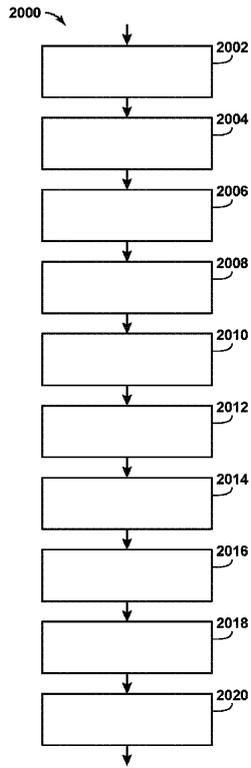


FIG. 20

【 21 】

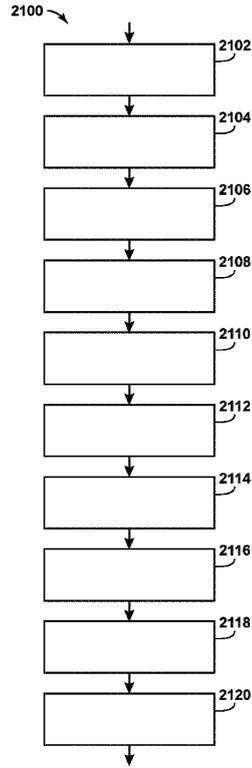


FIG. 21

10

20

30

40

50

## フロントページの続き

弁理士 須田 洋之  
(74)代理人 100119013  
弁理士 山崎 一夫  
(74)代理人 100123777  
弁理士 市川 さつき  
(74)代理人 100111796  
弁理士 服部 博信  
(74)代理人 100193493  
弁理士 藤原 健史  
(72)発明者 リウ イジュン  
アメリカ合衆国 テキサス州 77379 スプリング エレーヌ ローズ コート 20102  
(72)発明者 ピエール フリッツ ジュニア  
アメリカ合衆国 テキサス州 77346 ハンブル バイユー ミード トレイル 18011  
審査官 塩谷 領大  
(56)参考文献 特表2009-530583(JP,A)  
特表2018-538506(JP,A)  
特開2018-013326(JP,A)  
(58)調査した分野 (Int.Cl., DB名)  
F25J 1/00 - 5/00