

(19)日本国特許庁(JP)

(12)特許公報(B2)

(11)特許番号
特許第7577828号
(P7577828)

(45)発行日 令和6年11月5日(2024.11.5)

(24)登録日 令和6年10月25日(2024.10.25)

(51)国際特許分類	F I	
F 2 5 B 41/30 (2021.01)	F 2 5 B 41/30	
F 2 5 B 1/00 (2006.01)	F 2 5 B 1/00	3 9 6 D
F 2 5 B 31/00 (2006.01)	F 2 5 B 31/00	A
F 2 5 B 43/00 (2006.01)	F 2 5 B 43/00	B

請求項の数 20 (全37頁)

(21)出願番号	特願2023-501176(P2023-501176)	(73)特許権者	516099646
(86)(22)出願日	令和3年7月1日(2021.7.1)		エナジー リカバリー, インコーポレイ
(65)公表番号	特表2023-533321(P2023-533321 A)		ティド
(43)公表日	令和5年8月2日(2023.8.2)		アメリカ合衆国, カリフォルニア 9 4
(86)国際出願番号	PCT/US2021/040199		5 7 7, サン レアンドロ, ドゥリトル
(87)国際公開番号	WO2022/010749	(74)代理人	ドライブ 1 7 1 7
(87)国際公開日	令和4年1月13日(2022.1.13)		100099759
審査請求日	令和6年6月3日(2024.6.3)		弁理士 青木 篤
(31)優先権主張番号	16/926,328	(74)代理人	100123582
(32)優先日	令和2年7月10日(2020.7.10)		弁理士 三橋 真二
(33)優先権主張国・地域又は機関	米国(US)	(74)代理人	100092624
早期審査対象出願			弁理士 鶴田 準一
		(74)代理人	100114018
			弁理士 南山 知広
		(74)代理人	100153729

最終頁に続く

(54)【発明の名称】 高速回転圧力交換器を有する冷凍システム

(57)【特許請求の範囲】

【請求項1】

複数のチャンネルを形成する回転子であって、前記回転子は、

気体冷却器または凝縮器から第1の流体を、回転圧力交換器の第1の入口から前記複数のチャンネルのうちの1つ以上の中に受け入れ；

蒸発器から第2の流体を、回転圧力交換器の第2の入口から前記複数のチャンネルのうちの少なくとも1つの中に受け入れ；

前記第1の流体と前記第2の流体の間で圧力を交換するように構成された、回転子と；
液体状態でまたは液体と蒸気の2相混合物の状態で前記第1の流体を出力するように構成された第1の出口と；

超臨界状態または亜臨界状態で前記第2の流体を出力するように構成されている第2の出口と；

を含む回転圧力交換器；
を含む冷凍システム。

【請求項2】

前記回転圧力交換器がさらに、ハウジングを含み、前記回転子及び1つ以上のセンサが、前記ハウジング内に配置されている、請求項1に記載の冷凍システム。

【請求項3】

前記第1の入口が、前記1つ以上のセンサからのセンサデータに基づいて、第1の流量率で前記第1の流体を受け入れるためのものである、請求項2に記載の冷凍システム。

【請求項 4】

前記第 2 の入口が、前記 1 つ以上のセンサからのセンサデータに基づいて、第 2 の流量率で前記第 2 の流体を受け入れるためのものである、請求項 2 に記載の冷凍システム。

【請求項 5】

前記 1 つ以上のセンサが、温度センサまたは圧力センサを 1 つ以上含む、請求項 2 に記載の冷凍システム。

【請求項 6】

前記第 1 の流体および前記第 2 の流体が二酸化炭素である、請求項 1 に記載の冷凍システム。

【請求項 7】

前記第 2 の入口がさらに、フラッシュガス制御弁を介してフラッシュタンクから前記第 2 の流体を受け入れるように構成されており、前記第 1 の入口が第 1 の圧力で前記第 1 の流体を受け入れるように構成されており、前記第 2 の入口が、前記第 1 の圧力よりも低い第 2 の圧力で前記第 2 の流体を受け入れるように構成されている、請求項 1 に記載の冷凍システム。

【請求項 8】

メモリと；

前記メモリに結合されたプロセッサであって：

複数のセンサからセンサデータを受信し；

前記センサデータの少なくとも第 1 の部分に基づいて、気体冷却器または凝縮器から回転圧力交換器への第 1 の流体の第 1 の流量率を制御し；

前記センサデータの少なくとも第 2 の部分に基づいて、蒸発器から前記回転圧力交換器への第 2 の流体の第 2 の流量率を制御する；

プロセッサと；

を含むシステムであって、前記回転圧力交換器が複数のチャンネルを形成する回転子を含み、前記回転子は、

前記気体冷却器または前記凝縮器から前記第 1 の流体を、前記回転圧力交換器の第 1 の入口から前記複数のチャンネルのうちの 1 つ以上の中に受け入れ；

前記蒸発器から前記第 2 の流体を、前記回転圧力交換器の第 2 の入口から前記複数のチャンネルのうちの少なくとも 1 つの中に受け入れ；

前記第 1 の流体と前記第 2 の流体の間で圧力を交換するように構成されており、前記第 1 の流体が、液体状態でまたは液体と蒸気の 2 相混合物の状態の前記回転圧力交換器から退出するようになっており、前記第 2 の流体が、超臨界状態または亜臨界状態で前記回転圧力交換器から退出するようになっている、システム。

【請求項 9】

前記複数のセンサが、温度センサまたは圧力センサのうちの 1 つ以上を含む、請求項 8 に記載のシステム。

【請求項 10】

前記複数のセンサのうちの少なくとも 1 つが、前記回転圧力交換器のハウジング内に配置されている、請求項 8 に記載のシステム。

【請求項 11】

前記プロセッサが、1 つ以上の弁を介して、前記第 1 の流量率および前記第 2 の流量率を制御する、請求項 8 に記載のシステム。

【請求項 12】

前記第 1 の流体および前記第 2 の流体が二酸化炭素である、請求項 8 に記載のシステム。

【請求項 13】

前記プロセッサがさらに、フラッシュガス制御弁を介して、フラッシュタンクから前記回転圧力交換器への前記第 2 の流体の第 3 の流量率を制御する、請求項 8 に記載のシステム。

【請求項 14】

前記第 1 の流量率にある前記第 1 の流体が、第 1 の圧力で前記回転圧力交換器に入るようになっており、前記第 2 の流量率および前記第 3 の流量率からの前記第 2 の流体は、組合わさって、前記第 1 の圧力よりも低い第 2 の圧力で前記回転圧力交換器に入るようになっている、請求項 13 に記載のシステム。

【請求項 15】

複数のセンサからセンサデータを受信することと；

前記センサデータの少なくとも第 1 の部分に基づいて、気体冷却器または凝縮器から回転圧力交換器への第 1 の流体の第 1 の流量率を制御することと；

前記センサデータの少なくとも第 2 の部分に基づいて、蒸発器から前記回転圧力交換器への第 2 の流体の第 2 の流量率を制御することと；

を含む方法であって、前記回転圧力交換器が複数のチャンネルを形成する回転子を含み、前記回転子は、

前記気体冷却器または前記凝縮器から前記第 1 の流体を、前記回転圧力交換器の第 1 の入口から前記複数のチャンネルのうちの 1 つ以上の中に受け入れ；

前記蒸発器から前記第 2 の流体を、前記回転圧力交換器の第 2 の入口から前記複数のチャンネルのうちの少なくとも 1 つの中に受け入れ；

前記第 1 の流体と前記第 2 の流体の間で圧力を交換するように構成されており、前記第 1 の流体が、液体状態でまたは液体と蒸気の 2 相混合物の状態で前記回転圧力交換器から退出するようになっており、前記第 2 の流体が、超臨界状態または亜臨界状態で前記回転圧力交換器から退出するようになっている、方法。

【請求項 16】

前記複数のセンサが、温度センサまたは圧力センサのうちの 1 つ以上を含む、請求項 15 に記載の方法。

【請求項 17】

前記複数のセンサのうちの少なくとも 1 つが、前記回転圧力交換器のハウジング内に配置されている、請求項 15 に記載の方法。

【請求項 18】

前記第 1 の流量率および前記第 2 の流量率の制御が 1 つ以上の弁を介したものである、請求項 15 に記載の方法。

【請求項 19】

前記第 1 の流体および前記第 2 の流体が二酸化炭素である、請求項 15 に記載の方法。

【請求項 20】

フラッシュガス制御弁を介して、フラッシュタンクから前記回転圧力交換器への前記第 2 の流体の第 3 の流量率を制御することをさらに含み、前記第 1 の流量率にある前記第 1 の流体が、第 1 の圧力で前記回転圧力交換器に入るようになっており、前記第 2 の流量率および前記第 3 の流量率からの前記第 2 の流体は、組合わさって、前記第 1 の圧力よりも小さい第 2 の圧力で前記回転圧力交換器に入るようになっている、請求項 15 に記載の方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本節は、以下で説明されかつ／または請求されている、本発明のさまざまな態様に関連し得る技術分野のさまざまな側面を読者に紹介するように意図されたものである。この論述は、本発明のさまざまな態様をより良く理解することを促すための背景情報を読者に提供する上で有用であると考えられる。したがって、これらの供述は、かかる観点から読まれるべきものであり、先行技術の承認ではないということを理解しなければならない。

【背景技術】

【0002】

政府環境機関による施行に伴い、世界の大部分が、現在、超臨界二酸化炭素冷凍のような地球温暖化ゼロの冷凍システムへの移行を余儀なくされている。超臨界二酸化炭素シス

10

20

30

40

50

テムは、ヨーロッパや北米の大部分のような比較的低温の気候においてはうまく機能するが、これらのシステムの性能係数（効率の尺度）は、周囲環境の周囲温度が高くなるにつれて低下し、結果として実施される単位冷却あたりの電気コストが高くなることから、高温気候においては欠点に直面する。これは、超臨界二酸化炭素システムが、HFC／CFCベースのシステム（およそ1,379～2,068.4 kPa（200～300 psi））に比べて、動作するのに必要とする圧力のはるかに大きい（およそ10,342 kPa（1500 psi）以上）ことに起因する。冷媒を臨界圧力より高くするために、非常に高い差圧の圧縮機が使用される。圧縮機を横切る圧力比が大きいと、より多くの電気エネルギーが消費される。この問題は、より高温の周囲環境への熱の放出を可能にするために冷却装置の入口における冷媒温度を十分に高い温度まで上昇させる必要があるため、より高温の気候においては大きくなる。これは、圧縮機を横切る圧力比をさらに高く上昇させることによって行なわれ、こうして、より大きい電気が圧縮機に必要とされ、次に、実施される単位冷却あたりの電気コストが上昇する。冷凍システム（例えば、超臨界二酸化炭素冷凍システム）の効率を増大させることは、冷凍システムの操業コストを削減すると同時にその利用可能性を増大させると同時に、地球温暖化の抑制を促進し得る。

【発明の概要】

【0003】

開示対象の主題と範囲が整合するいくつかの実施形態を、以下で要約する。これらの実施形態は、本開示の範囲を限定するように意図されたものではなく、むしろ、いくつかの開示対象の実施形態の簡単な要約を提供することだけを意図したものにすぎない。実際、本開示は、以下に記載の実施形態と類似するかまたはそれらと異なっていてよいさまざまな形態を包含し得る。

【0004】

一実施形態においては、冷凍システムが提供されている。冷凍システムは、中を通して高压で冷媒を循環させるための高压分岐を含む。冷凍システムは同様に、高压分岐に沿って配置されたガス冷却器または凝縮器（condenser）を含み、ここで高压分岐は、このガス冷却器または凝縮器を介して高压で冷媒から周囲環境に熱を放出するように構成されており、高压の冷媒は超臨界状態または亜臨界状態にある。冷凍システムはさらに、中を通して低压で冷媒を循環させるための低压分岐を含む。冷凍システムはさらにまた、低压分岐に沿って配置された蒸発器を含み、ここで低压分岐は、この蒸発器を介して周囲環境から低压の冷媒内に熱を吸収するように構成されており、低压の冷媒は、液体状態、蒸気状態にあるかまたは液体と蒸気の2相混合物である。冷凍システムはさらにまた、冷媒の圧力を低压から高压へと上昇させるように構成された圧縮機またはポンプを含む。冷凍システムはさらに、低压分岐および高压分岐に流体結合された回転圧力交換器を含み、ここで回転圧力交換器は、高压分岐から高压の冷媒を受け入れ、低压分岐から低压の冷媒を受け入れ、かつ高压の冷媒と低压の冷媒の間で圧力を交換するように構成されており、回転圧力交換器からの第1の退出流は、超臨界状態または亜臨界状態にある高压の冷媒を含み、回転圧力交換器からの第2の退出流は、液体状態にあるかまたは液体と蒸気の2相混合物の低压の冷媒を含んでいる。

【0005】

一実施形態においては、冷凍システムが提供されている。冷凍システムは、中を通して高压で冷媒を循環させるための高压分岐を含む。冷凍システムは、高压分岐に沿って配置されたガス冷却器または凝縮器を含み、ここで高压分岐は、このガス冷却器または凝縮器を介して高压で冷媒から周囲環境に熱を放出するように構成されており、高压の冷媒は超臨界状態または亜臨界状態にある。冷凍システムは同様に、中を通して低压で冷媒を循環させるための低压分岐を含む。冷凍システムはさらにまた、低压分岐に沿って配置された第1の蒸発器を含み、ここで第1の蒸発器は、第1の温度で動作するように構成されており、低压分岐は、この蒸発器を介して周囲環境から低压の冷媒内に熱を吸収するように構成されており、低压の冷媒は、液体状態、蒸気状態にあるかまたは液体と蒸気の2相混合物である。冷凍システムはさらに、第1の中間圧で中を通して冷媒を循環させるための第

1 の中間圧分岐を含む。冷凍システムはさらにまた、第 1 の中間圧分岐に沿って配置された第 2 の蒸発器を含み、ここでこの第 2 の蒸発器は、第 1 の温度よりも高い第 2 の温度で動作するように構成されている。冷凍システムはさらに、第 2 の中間圧で中を通して冷媒を循環させるための第 2 の中間圧分岐を含み、ここで第 1 の中間圧分岐内の冷媒の第 1 の中間圧は、低圧分岐および第 2 の中間圧分岐内の冷媒のそれぞれの圧力の間にあり、第 1 の中間圧分岐内の冷媒の第 1 の中間圧は、第 2 の蒸発器における飽和圧力に等しく、第 2 の中間圧分岐内の冷媒の第 2 の中間圧は、高圧分岐および第 1 の中間圧分岐内の冷媒のそれぞれの圧力の間にある。冷凍システムはさらに、第 2 の中間圧で動作し、液体と蒸気の 2 相混合物の冷媒を純粋な液体および純粋な蒸気へと分離するように構成されたフラッシュタンクと；第 2 の中間圧分岐および高圧分岐に流体結合された回転圧力交換器と、を含み、回転圧力交換器は、高圧分岐から高圧の冷媒を受け入れ、第 2 の中間圧分岐から、蒸気状態、液体状態にあるかまたは液体と蒸気の 2 相混合物の第 2 の中間圧の冷媒を受け入れ、かつ高圧の冷媒と第 2 の中間圧の冷媒の間で圧力を交換するように構成されており、回転圧力交換器からの第 1 の退出流が、超臨界状態または亜臨界状態にある高圧の冷媒を含み、回転圧力交換器からの第 2 の退出流が、液体状態にあるかまたは液体と蒸気の 2 相混合物の第 2 の中間圧の冷媒を含んでいる。

【0006】

一実施形態においては、冷凍システムが提供されている。冷凍システムは、中を通して高圧で冷媒を循環させるための高圧分岐を含む。冷凍システムは同様に、高圧分岐に沿って配置されたガス冷却器または凝縮器を含み、ここで高圧分岐は、このガス冷却器または凝縮器を介して高圧で冷媒から周囲環境に熱を放出するように構成されており、高圧の冷媒は超臨界状態または亜臨界状態にある。冷凍システムはさらに、中を通して低圧で冷媒を循環させるための第 2 の低圧分岐を含む。冷凍システムはさらにまた、低圧分岐に沿って配置された第 1 の蒸発器を含み、ここでこの第 1 の蒸発器は、第 1 の温度で動作するように構成されており、ここで低圧分岐は、この蒸発器を介して周囲環境から低圧の冷媒内に熱を吸収するように構成されており、低圧の冷媒は、液体状態、蒸気状態にあるかまたは液体と蒸気の 2 相混合物である。冷凍システムはさらにまた、中を通して中間圧で冷媒を循環させるための中間圧分岐を含む。冷凍システムはさらにまた、中間圧分岐に沿って配置された第 2 の蒸発器を含み、ここでこの第 2 の蒸発器は、第 1 の温度よりも高い第 2 の温度で動作するように構成されている。中間圧分岐内の冷媒の中間圧は、高圧分岐と低圧分岐内の冷媒のそれぞれの圧力の間にあり、中間圧分岐内の冷媒の中間圧は、第 2 の蒸発器における飽和圧力に等しい。冷凍システムはさらに、中間圧で動作しかつ液体と蒸気の 2 相混合物の冷媒を純粋な液体および純粋な蒸気へと分離するように構成されたフラッシュタンクを含む。冷凍システムはさらに、中間圧分岐および高圧分岐に流体結合された回転圧力交換器を含み、ここでこの回転圧力交換器は、高圧分岐から高圧の冷媒を受け入れ、中間圧分岐から、蒸気状態、液体状態にあるかまたは液体と蒸気の 2 相混合物の中間圧の冷媒を受け入れ、かつ高圧の冷媒と中間圧の冷媒の間で圧力を交換するように構成されており、回転圧力交換器からの第 1 の退出流は、超臨界状態または亜臨界状態にある高圧の冷媒を含み、回転圧力交換器からの第 2 の退出流は、液体状態にあるかまたは液体と蒸気の 2 相混合物の中間圧の冷媒を含んでいる。

【0007】

本発明のさまざまな特徴、態様および利点は、図全体を通して同様の文字が同様の部品を表わしている添付図を参照しながら以下の詳細な説明を読んだときにより良く理解できるものである。

【図面の簡単な説明】

【0008】

【図 1】図 1 は、二酸化炭素の相図である。

【0009】

【図 2】図 2 は、回転圧力交換器または回転液体ピストン圧縮機（LPC）を有する冷凍システムの一実施形態の概略図である。

【0010】

【図3】図3は、ジュールトムソン膨張弁を利用する冷凍システム対図2の冷凍システムにおける熱力学的プロセスを示す温度－エントロピ線図である。

【0011】

【図4】図4は、ジュールトムソン膨張弁を利用する冷凍システム対図2の冷凍システムにおける熱力学的プロセスの圧力－エンタルピ線図である。

【0012】

【図5】図5は、回転圧力交換器または回転LPCの一実施形態の分解組立斜視図である。

【0013】

【図6】図6は、第1の動作位置にある回転圧力交換器または回転LPCの一実施形態の分解組立斜視図である。

10

【0014】

【図7】図7は、第2の動作位置にある回転圧力交換器または回転LPCの一実施形態の分解組立斜視図である。

【0015】

【図8】図8は、第3の動作位置にある回転圧力交換器または回転LPCの一実施形態の分解組立斜視図である。

【0016】

【図9】図9は、第4の動作位置にある回転圧力交換器または回転LPCの一実施形態の分解組立斜視図である。

20

【0017】

【図10】図10は、障壁システムを有する回転子の一実施形態の分解組立図である。

【0018】

【図11】図11は、障壁システムを有する回転子の一実施形態の断面図である。

【0019】

【図12】図12は、障壁システムを有する回転子の一実施形態の断面図である。

【0020】

【図13】図13は、障壁システムを有する回転子の一実施形態の断面図である。

【0021】

【図14】図14は、図11のライン14－14に沿った障壁の一実施形態の断面図である。

30

【0022】

【図15】図15は、図11のライン14－14に沿った障壁の一実施形態の断面図である。

【0023】

【図16】図16は、冷却システムを有する回転圧力交換器または回転液体ピストン圧縮機の一実施形態の断面図である。

【0024】

【図17】図17は、加熱システムを有する回転圧力交換器または回転液体ピストン圧縮機の一実施形態の断面図である。

40

【0025】

【図18】図18は、スーパーマーケットの冷凍システムアーキテクチャにおける冷凍システムの一実施形態の概略図である。

【0026】

【図19】図19は、代替的なスーパーマーケットの冷凍システムアーキテクチャにおける冷凍システムの一実施形態の概略図である。

【0027】

【図20】図20は、RLPC内での原動力流体および作動流体の動きを制御する制御システムの一実施形態の概略図である。

【0028】

50

【図 2 1】図 2 1 は、R L P C 内での原動力流体および作動流体の動きを制御する制御システムの一実施形態の概略図である。

【0 0 2 9】

【図 2 2 A】図 2 2 A は、回転圧力交換器または回転液体ピストン圧縮機 (L P C) (例えばバルクフロー圧縮機の代りに低流量、高差圧 (d i f f e r e n t i a l p r e s s u r e) (D P) のリークポンプと、低 D P で高流量の循環ポンプを有するもの) を有する冷凍システムの一実施形態の概略図である。

【0 0 3 0】

【図 2 2 B】図 2 2 B は、回転圧力交換器または回転液体ピストン圧縮機 (L P C) (例えばバルクフロー圧縮機の代りにリーク圧縮機を有するもの) を有する冷凍システムの一実施形態の概略図である。

10

【0 0 3 1】

【図 2 3】図 2 3 は、図 2 2 の冷凍システム内の熱力学的プロセスの温度-エントロピー線図である。

【0 0 3 2】

【図 2 4】図 2 4 は、図 2 2 の冷凍システム内の熱力学的プロセスの圧力-エンタルピー線図である。

【0 0 3 3】

【図 2 5】図 2 5 は、回転圧力交換器または回転液体ピストン圧縮機 (L P C) (例えばバルクフロー圧縮機および追加の低 D P の循環圧縮機 (例えばブロワ) の代りにリーク圧縮機を有するもの) を有する冷凍システムの一実施形態の概略図である。

20

【0 0 3 4】

【図 2 6】図 2 6 は、(例えば膨張弁を有する) スーパーマーケットの冷凍システムアーキテクチャにおける冷凍システムの一実施形態の概略図である。

【0 0 3 5】

【図 2 7】図 2 7 は、(例えば膨張弁を有する) 代替的なスーパーマーケットの冷凍システムアーキテクチャにおける冷凍システムの一実施形態の概略図である。

【発明を実施するための形態】

【0 0 3 6】

本発明の 1 つ以上の具体的実施形態について以下で説明する。これらの説明される実施形態は、本発明の一例にすぎない。さらに、これらの例示的实施形態の簡潔な説明を提供しようとして、実際の実装の全ての特徴が本明細書中で説明されていない可能性がある。あらゆるエンジニアリングまたはデザインプロジェクトの場合と同様に、このような何らかの実際の実装の開発においては、実装毎に変動し得る、例えばシステム関連およびビジネス関連の制約との整合性などのデベロッパの具体的最終目的を達成するために、多くの実装特異的な決断を下さなければならないということを認識すべきである。その上、このような開発努力は複雑で時間がかかる可能性があると考えられるものの、本開示のメリットを受ける当業者にとっては設計、製作および製造の日常的な仕事であると思われる、ということを認識すべきである。さらに、本明細書中で開示されている異なる実施形態の特徴は、別段の指摘が無い限り互いに組合せることができるものであるということを認識すべきである。

30

【0 0 3 7】

以下の論述は、ジュールトムソン膨張弁の代りに回転圧力交換器または回転液体ピストン圧縮機または回転液体ピストンポンプを利用する冷凍システム (例えば超臨界二酸化炭素冷凍システム) について説明している。以下で説明される通り、冷凍システムは、ジュールトムソン膨張弁を用いた場合には喪失したであろうと考えられる圧力エネルギーの大部分を回収しながら、冷凍システムの冷却能力を増大させることによって、さらに効率良く動作し得る。ジュールトムソン膨張弁を回転圧力交換器で置換することで、典型的な冷凍システムでは 40 パーセントに及ぶ全損失を結果としてもたらす膨張弁内で発生するエネルギー破壊およびエントロピー生成の両方の一掃に起因して、効率が増大する。さらにジュー

40

50

ルトムソン膨張弁を回転圧力交換器で置換することは、膨張弁を横断した等エンタルピ（すなわち恒常なエンタルピ）プロセスから回転圧力交換器を横断した等エントロピまたは等エントロピに近い（すなわち恒常なエントロピ）プロセスへと膨張プロセスを変更することによって、効率を増大させる。一部の実施形態において、回転圧力交換器は同様に、バルクフロー圧縮機（bulk flow compressor）の機能を置換することもできる。こうして、1つ以上の低差圧（differential pressure）（DP）の循環圧縮機（プロワ）または循環ポンプをバルクフロー（bulk flow）高差圧の圧縮機の代りに使用すること、そして（例えば小さい圧力損失を克服するために）冷凍システム内部の流量を維持することが可能となる。これらの低DPの循環圧縮機は、バルクフロー圧縮機に比べて消費エネルギーが著しく少ない（例えば10分の1以下）可能性がある。ジュールトムソン膨張弁およびバルクフロー圧縮機の両方を回転圧力交換器で置換することで、電力消費量および電気コストの削減しながら冷凍システム内の最大の非効率源のうちの2つが取り除かれる。さらに、膨張弁および／またはバルクフロー圧縮機の代りに回転圧力交換器を使用することで、他の環境（例えばより暖かい環境）における冷凍システムの利用可能性が増大し得る。より暖かい周囲温度（例えば摂氏50度）では、（圧縮機の出口において求められる圧力が著しく上昇して）圧縮機の圧力比が改変され、サイクル効率（すなわち性能係数）を最適温度（例えば摂氏35度）に比べて60パーセントも著しく低下させる。回転圧力交換器は、必要とされる圧縮機の仕事、冷凍システムの冷却能力そして冷凍システムの性能係数に対してより暖かい環境温度が及ぼす悪影響を軽減する。

【0038】

動作中、回転圧力交換器または回転液体ピストン圧縮機またはポンプは、第1および第2の流体の間の圧力を完全に等化させてもさせなくてもよい。したがって、回転液体ピストン圧縮機またはポンプは、等圧でまたは実質的に等圧で動作し得る（例えば、ここで第1および第2の流体の圧力は、相互におよそ+/-1、2、3、4、5、6、7、8、9または10パーセント以内で等化する）。回転液体ピストン圧縮機またはポンプは、概して、高圧入口流と低圧入口流の間において、およそ50%、60%、70%、80%、または90%を超える効率で流体圧力を移送する装置として定義することができる。

【0039】

図1は、二酸化炭素の相図2である。相図は、温度および圧力との関係における化学系内のさまざまな相の平衡限界を表わす。図1の相図2は、温度および圧力が変化することによって二酸化炭素がどのように相を変化させるか（例えば、気体（蒸気）、液体、固体、超臨界）を例示している。二酸化炭素がどの時点で気体または蒸気、液体および固体として存在するかの例示に加えて、相図2は、二酸化炭素がどの時点で超臨界流体に変化するかを例示している。化合物は、その臨界点より高い圧力および温度にさらされた場合、超臨界流体となる。臨界点とは、物質の液相と気相を区別する表面張力（メニスカス）が消滅し2つの相間が区別できなくなる点である。超臨界領域内で、流体は特別な特性を示す。これらの特性には、気体が液体様の（例えば一桁分高い）密度、比熱、粘度および気体を通る音速を有することが含まれ得る。

【0040】

図2は、超臨界状態にある流体を使用する冷凍システム800（例えば超臨界二酸化炭素冷凍システム）の一実施形態の概略図である。冷凍システム800は二酸化炭素を使用するものとして説明されているが、他の冷媒も利用可能である。冷凍システム800内で膨張弁（例えばジュールトムソン膨張弁）の代りに以下で説明されるような回転圧力交換器または回転液体圧縮機802（図中PXで表示）を使用することにより、冷凍システム800は、ジュールトムソン膨張弁を用いた場合には喪失したであろうと思われる圧力エネルギーの大部分を回収しながら、冷凍システム800の冷却能力を増大させることでより効率良く動作することが可能となる。いくつかの実施形態において、回転圧力交換器は、バルクフロー圧縮機の機能を置換し、こうして（著しくよりエネルギー効率の良い）1つ以上の低DPの循環圧縮機またはポンプをバルクフロー圧縮機の代りに使用することを可能

にできる。例えば、超臨界二酸化炭素冷凍システムは、はるかに大きい圧力（およそ 10,342 kPa (1500 psi) 以上）で動作する必要がある、これは、圧縮機（非常に高い差圧の圧縮機）を横切って大きな圧力比を創出し、より多くの電気エネルギーが消費される結果になる。膨張弁を回転圧力交換器で置換することで、回転圧力交換器内ではほぼ全ての圧力降下を回収し、流量を主圧縮機に送るのではなくむしろ蒸発器から来る流量を加圧するために利用することが可能になる。したがって、圧縮機の電気需要を著しく削減または削除することができる。ジュールトムソン膨張弁および／またはバルクフロー圧縮機の代りに回転圧力交換器を使用する冷凍システム 800 は、スーパーマーケットの冷凍システム、加熱、換気および／または空調（HVAC）システム、天然液化ガスシステム用の冷凍、化学処理産業向けの工業用冷凍、蓄電池技術（例えば、冷凍および発電サイクルの組合せを用いた太陽または風力発電用の熱エネルギー貯蔵システムの創出）、水族館、極地住居研究システムそして、冷凍が使用される他のあらゆるシステムを含めたさまざまな利用分野において使用可能である。

【0041】

描写された通り、冷凍システム 800 は、高圧冷媒（例えば二酸化炭素）を循環させるための第 1 の流体ループ（例えば高圧分岐）804、および高圧分岐 804 よりも低い圧力で低圧冷媒（例えば二酸化炭素）を循環させるための第 2 の流体ループ（例えば低圧分岐）806 を含む。第 1 の流体ループ 804 は、熱交換器 808（例えばガス冷却器／凝縮器）および回転圧力交換器 802 を含む。熱交換器 808 は、高圧冷媒から周囲環境へ熱を放出する。ガス冷却器は以下では、超臨界高圧冷媒（例えば二酸化炭素）での使用について説明されているものの、いくつかの実施形態では、凝縮器を亜臨界高圧冷媒（例えば二酸化炭素）で 사용할 ことができる。冷媒についての亜臨界状態は、臨界点未満（詳細には臨界点と三重点の間）である。第 2 の流体ループ 806 は、熱交換器 810（例えば蒸発器などの冷却または熱負荷）および回転圧力交換器 802 を含む。熱交換器 810 は、周囲環境から低圧冷媒中に熱を吸収する。低圧分岐 806 内の低圧冷媒は、液体状態、蒸気状態にあるかまたは液体と蒸気の 2 相混合物であってよい。流体ループ 804、806 は両方共、圧縮機 812（例えばバルクフロー圧縮機）に対して流体結合されている。圧縮機 812 は（温度および圧力を上昇させることによって）、蒸発器 810 から受け入れた過熱された気体の二酸化炭素を、ガス冷却器 808 に供給される超臨界状態の二酸化炭素へと変換する。一部の実施形態においては、以下でさらに詳述するように、圧縮機 812 は、システム 800 内部の小さい圧力損失を克服し流体流（fluid flow）を維持するため、1 つ以上の低 DP の循環圧縮機またはポンプにより置換されてよい。概して、第 1 の流体ループ 804 に沿って、ガス冷却器 808 は、超臨界状態の二酸化炭素を受け入れ、その後、幾分か冷却した後（例えば高圧入口 822 において）回転圧力交換器 802 に供給する。第 2 の流体ループ 804 に沿って、蒸発器 810 は、回転圧力交換器 802 の低圧入口 813 に対して、過熱された気体の二酸化炭素の第 1 の部分を供給し、圧縮機 812 に対して、過熱された気体の二酸化炭素の第 2 の部分を供給する。回転圧力交換器 802 は、超臨界状態にある二酸化炭素と過熱された気体の二酸化炭素との間で、圧力を交換する。超臨界状態にある二酸化炭素は、回転圧力交換器 802 の内部で、2 相液体／蒸気混合物へと変換され、低圧出口 824 から退出して、蒸発器 810 へと供給される。回転圧力交換器 802 は同様に、過熱された気体の二酸化炭素の圧力および温度を上昇させて、それを超臨界状態の二酸化炭素に変換し、この二酸化炭素は、それがガス冷却器 808 へと供給される高圧出口 815 を介して、回転圧力交換器 802 から退出する。図 2 に例示されているように、回転圧力交換器 802 から退出する超臨界状態にある二酸化炭素は、圧縮機 812 からガス冷却器 808 に供給された二酸化炭素と組合わされてよい。

【0042】

（例えば、ジュールトムソン膨張弁を使用する冷凍システムとの関係における）冷凍システム 800 内で発生する熱力学的プロセスは、図 3 および 4 を参照してより詳細に説明される。図 3 および 4 は、ジュールトムソン膨張弁を含む冷凍システムに比べた冷凍シス

10

20

30

40

50

テム 800 の 4 つの主要構成要素で発生する熱力学的プロセスを示すために、それぞれ温度－エントロピ（ $T-S$ ）線図 814 および圧力－エントロピ（ $P-H$ ）線図 816 を例示する。点 1 は、圧縮機の入口 818 を表わす（図 2 参照）。点 2 は、圧縮機の出口 819 およびガス冷却器の入口 820 を表わす。点 3 は、ガス冷却器の出口 830 および膨張弁の入口（ジュールトムソン膨張弁を有する冷凍システム内）または回転液体圧縮機 802 の高圧入口 822 を表す。点 4 は、膨張弁の出口または回転液体圧縮機 802 の低圧出口 824（図 3 および図 4 に P_X として標示）および蒸発器の入口 826 を表わす。図 3 および 4 に例示されているように、圧縮機 812 は、圧力を上昇させ、こうして、冷媒作動流体（例えば二酸化炭素）の温度を、環境よりも高い温度まで上昇させ、そこで外部のより高温の環境へと熱を放出することができる。これは、ガス冷却器 808 の内部で発生する。二酸化炭素が超臨界状態にあることから、温度が、超臨界二酸化炭素システムのガス冷却器 808 内で $T-S$ 線図上の 2 相ドームの内側における熱交換プロセスの大部分を通して恒常であり続けている従来の凝縮器とは異なり、相境界は存在せず、二酸化炭素は、2 相ドーム 828 の上方にある。したがって、温度は、二酸化炭素が熱を環境へと放出するときに下降する。環境温度が高くなればなるほど、圧縮機 812 を横切る圧力比は大きくなり、システムの圧力も大きくなる。点 3 において、ガス冷却器出口 830 を離れる二酸化炭素はこのとき、（ジュールトムソン膨張弁を有する冷凍システム内で）膨張弁を通して進み、曲線 832 によって示されているように、バルブ内の恒常なエンタルピプロセス（ $3 \rightarrow 4_h$ ）をたどる。 $P-H$ 線図 816 上で、曲線 832 は、（それが等エンタルピプロセスであるため）真直ぐな垂直ラインである。結果として、二酸化炭素は 2 相ドーム 828 に入り、液体と気体の平衡混合物になる。液体の正確な質量分率は、 4_h （すなわち曲線 832）が蒸発器圧力を表わす恒常圧力水平ライン 834 と交差する点によって決定される。2 相混合物は、このとき蒸発器 810 を通って続き、ここで、液体二酸化炭素がさらに多くの熱を吸収し、蒸発器 810 の出口 836 において飽和蒸気となる。したがって、圧縮機 812 内に入る流体は、純粋な蒸気相（気相）にある。

【0043】

ここで、図 2 に示されているようなジュールトムソン膨張弁を置換する回転圧力交換器 802 を有するシステムを考慮する。図 3 および 4 に例示されているように、ガス冷却器出口 830 で超臨界状態にある二酸化炭素は、高圧入口ポート 822 において回転圧力交換器 802 に入り、等エントロピまたは等エントロピに近い（例えば 85 パーセントの等エントロピ効率）膨張を受け、2 相気体－液体二酸化炭素として回転圧力交換器 802 の低圧出口ポート 824 で退出する。このプロセスは、 $T-S$ および $P-H$ 線図 814、816 上において曲線 835 で示されている。例示されているように、曲線 835（回転圧力交換器 802 を用いて得られたもの）は、曲線 832（膨張弁を用いて得られたもの）の左に向かって存在し、このことは、2 相液体中の液体含有物の量または百分率が、膨張弁の場合（ $P-H$ 線図 816 上の点 4_h の位置）に比べ、回転圧力交換器 802 を通した膨張（ $P-H$ 図 816 上の点 4 の位置）の場合の方が大きいことを意味している。液体含有量がより大きいことに起因して、冷媒（例えば二酸化炭素）の吸収能力は、蒸発器 810 においてより大きいものである。したがって、環境条件によって設定される同じ圧力および温度境界条件について、冷凍システム 800 の冷却能力は、ジュールトムソン膨張弁の代りに回転圧力交換器 802 が使用された場合に増大する。 $P-H$ 線図 816 上の点 4_s の位置は、完全な等エントロピ膨張プロセス（例えば 100 パーセントの等エントロピ膨張係数）を表わす。点 4 における 2 相二酸化炭素は、次に、蒸発器 810 中の熱を吸収することになる（プロセス $4 \rightarrow 1$ ）。セグメント 840 の長さ 838（ $4_h - 4$ で定義される）が、ジュールトムソン膨張弁を使用する典型的なもの（点 1 におけるエンタルピと点 4_h におけるエンタルピの間の差である、セグメント長 834）に比べた、回転圧力交換器 802 を使用するシステム 800 により提供される追加の冷却能力である。これが、冷凍サイクル内に回転圧力交換器 802 を組込むことで提供される主要な利点の 1 つである。

【0044】

冷凍サイクル内で回転圧力交換器 802 を使用することによって提供される別の利点は、過熱された気体の二酸化炭素として蒸発器 80 から回転圧力交換器 802 に入り（低圧入口 813 において）、破線 842 によって示されている通りの等エントロピまたは等エントロピに近い（例えば 85 パーセントの等エントロピ効率）圧縮を受ける（すなわちプロセス 1→2_s）第 2 の流体流（fluid stream）を見ることで明らかになる。このプロセスは、圧縮機 812 の内部で発生する等エントロピプロセス 1→2 に類似するものである。圧縮のほぼ全てが回転圧力交換器 802 の内部で発生することから、いくつかの実施形態において、主圧縮機 812 を完全にまたは部分的に除去することが可能である。例えば、この場合、圧縮機 812 は、（それを横切るエンタルピ変化が非常に小さいことから）非常にわずかな仕事しか消費しない非常に小さい差圧のガスブロウまたは循環ポンプによって置換され得る。これにより、性能効率（COP）（すなわち、冷凍サイクルの効率の標準的尺度）についての以下の等式から分かるように、冷凍サイクルの効率に対する圧倒的な利点が生み出される：

【数 1】

$$COP = \frac{\text{蒸発器中に吸収された熱}}{\text{圧縮機が行なった仕事}} = h_1 - h_4 / h_2 - h_1 \quad (1)$$

なお式中、h は、P-H 線図 816 上の 4 つの点の各々におけるエンタルピである。ここで分かるように、圧縮機 812 によってなされた仕事（w）（すなわち圧縮機 812 が消費した電気）を表わす上述の等式内の分母（h₂ - h₁）は、ジュールトムソン膨張弁及び圧縮機 812 の従来の組合せの代りに回転圧力交換器 802 が使用された場合に、非常に小さくなる。これにより、冷凍サイクルの COP（すなわち効率）の極めて大きな増大を生み出すことが可能である。先に言及した第 1 の利点（すなわち冷却能力の増大）と組み合わせたとき、点 4 における h が点 4_h における h よりも低い場合、項（h₁ - h₄）は、回転圧力交換器をベースとするシステムについてより大きいものとなり、こうして、冷凍サイクルの COP（すなわち効率）はさらに増大する。

【0045】

図 5 は、流体の混合が最小限である状態で、第 1 の流体（例えば第 1 の流体ループ 804 内を循環する超臨界二酸化炭素）と第 2 の流体（例えば第 2 の流体ループ 806 内を循環する過熱された気体の二酸化炭素）の間で圧力および／または仕事を移送する能力を有する回転圧力交換器または回転液体ピストン圧縮機 40（回転 LPC）（例えば図 2 中の回転圧力交換器 802）の一実施形態の分解組立斜視図である。回転 LPC 40 は、スリーブ 44（例えば回転子スリーブ）および回転子 46 を含む、略円筒形の本体部分 42 を含む得る。回転 LPC 40 は同様に、それぞれマニホールド 52 および 54 を含む 2 つのエンドキャップ 48 および 50 も含むことができる。マニホールド 52 は、それぞれの入口および出口ポート 56 および 58 を含む、一方マニホールド 54 は、それぞれの入口および出口ポート 60 および 62 を含む。動作中、これらの入口ポート 56、60 は、第 1 および第 2 の流体が回転 LPC 40 に入って圧力を交換することを可能にし、一方、出口ポート 58、62 は、第 1 および第 2 の流体が次に回転 LPC 40 から退出することを可能にする。動作中、入口ポート 56 は、高圧の第 1 の流体を受け入れることができ、圧力を交換した後、出口ポート 58 は、低圧の第 1 の流体を回転 LPC 40 から外へ導くために使用され得る。同様にして、入口ポート 60 は、低圧の第 2 の流体を受け入れることができ、出口ポート 62 は、高圧の第 2 の流体を回転 LPC 40 から外へ導くために使用され得る。エンドキャップ 48 および 50 は、回転子 46 との流体封止接触を可能にするそれぞれのマニホールド 52 および 54 の内部に配置されたそれぞれのエンドカバー 64 および 66 を含む。回転子 46 は、円筒形で、スリーブ 44 内に配置され得、これにより回転子 46 が軸 68 を中心として回転することが可能になる。回転子 46 は、各端部にある開口部 72 および 74 が長手方向軸 68 を中心として対称的に配設されている状態で、回転子 46 を通って実質的に長手方向に延在する複数のチャンネル 70 を有することができる。回転子

46の開口部72および74は、回転中にチャンネル70が高圧の流体および低圧の流体に曝露されるような形で、エンドカバー64および66内の入口および出口アパーチャ76および78；および80および82と流体連通するように配設される。例示されているように、入口および出口アパーチャ76および78；80および82は、円弧または円のセグメント（例えばC字形）の形で設計されてよい。

【0046】

いくつかの実施形態においては、センサのフィードバック（例えばタコメータまたは光学エンコーダを通して測定された毎分回転数または流量計を通して測定された体積流量率）を用いるコントローラが、回転LPC40内の第1の流体と第2の流体の間の混合の程度を制御することができ、これを用いて流体操作システムの操作性を改善することができる。例えば、回転LPC40に入る第1および第2の流体の体積流量率を変動させることで、プラントオペレータ（例えばシステムオペレータ）は、回転液体ピストン圧縮機10内部の流体混合量を制御することができる。さらに、回転子46の回転速度を変動させることで、同様に、オペレータは混合を制御することができる。混合に影響を及ぼす回転LPC40の3つの特性は、（1）回転子チャンネル70のアスペクト比、（2）第1の流体と第2の流体の間の曝露持続時間、および（3）回転子チャンネル70内部の第1の流体と第2の流体の間の流体障壁（例えば境界部分）の創出、である。第1に、回転子チャンネル70は、概して長尺かつ幅狭であり、これにより、回転LPC40内部で流量が安定する。さらに、第1および第2の流体は、最小限の軸方向の混合で、栓流レジーム（plug flow regime）でチャンネル70を通して移動されてもよい。第2にいくつかの実施形態において、回転子46の速度は第1および第2の流体間の接触を減少させる。例えば、回転子46の速度は、第1および第2の流体間の接触時間を、およそ0.15秒、0.10秒、または0.05秒未満に減少させてもよい。第3に、第1および第2の流体間の圧力交換には、回転子チャンネル70の僅かな部分しか使用されない。したがって、一定体積の流体が、第1および第2の流体間の障壁としてチャンネル70の中に残る。これらのメカニズム全てが、回転LPC40内での混合を制限してもよい。その上、いくつかの実施形態において、回転LPC40は、圧力移送を可能にしながら第1および第2の流体を隔離する、完全なまたは部分的な内部ピストンまたは他の障壁を用いて動作するように設計されてもよい。

【0047】

図6～9は、チャンネル70が完全に1サイクル回転するにつれての回転子46内の単一の回転子チャンネル70の位置の順序を例示する、回転LPC40の一実施形態の分解組立図である。図6～9は、1つの回転子チャンネル70を示す回転LPC40を簡略化したものであり、チャンネル70は、円形の断面形状を有するものとして示されている。他の実施形態において、回転LPC40は、同じまたは異なる断面形状（例えば円形、印形、方形、矩形、多角形など）を有する複数のチャンネル70を含むことができる。したがって、図6～9は、例示を目的として簡略化されたものであり、回転LPC40の他の実施形態は、図6～9に示されたものと異なる構成を有することができる。以下で詳述するように、回転LPC40は、回転子46の内部で第1および第2の流体が互いに短時間接触できるようにすることによって、第1および第2の流体間での圧力交換を促進する。いくつかの実施形態において、この交換は、第1および第2の流体の限定的な混合を結果的にもたらす速度で、生じる。より具体的には、（チャンネルがアパーチャ76に曝露された時点で直ちに）回転子チャンネル70を通して進む圧力波の速度、流体の拡散速度および回転子46の回転速度は、何らかの混合が発生しているか否かそしてどの程度で発生しているかを決定づける。

【0048】

図6において、チャンネル開口部72は、第1の位置にある。第1の位置で、チャンネル開口部72は、エンドカバー64内のアパーチャ78ひいてはマニホールド52と流体連通状態にあり、一方反対のチャンネル開口部74は、エンドカバー66内のアパーチャ82、さらにはマニホールド54と流体連通状態にある。以下で論述するように、回転子46は、矢

印 8 4 によって標示されている時計回り方向に回転し得る。動作中、低圧の第 2 の流体 8 6 はエンドカバー 6 6 を通過し、チャンネル 7 0 に入り、ここで、この流体は動的流体の境界部分 9 0 において第 1 の流体 8 8 と接触する。このとき、第 2 の流体 8 6 は、チャンネル 7 0 から外へ、エンドカバー 6 4 を通って、第 1 の流体 8 8 を回転 L P C 4 0 の外に出す。しかしながら、接触時間が短いため、第 2 の流体 8 6 と第 1 の流体 8 8 の間には、最小限の混合しか存在しない。

【 0 0 4 9 】

図 7 において、チャンネル 7 0 は、およそ 9 0 度の円弧を通して時計回り方向に回転している。この位置において、開口部 7 4（例えば出口）はもはやエンドカバー 6 6 のアパーチャ 8 0 および 8 2 と流体連通状態になく、開口部 7 2 はもはやエンドカバー 6 4 のアパーチャ 7 6 および 7 8 と流体連通状態にない。したがって、低圧の第 2 の流体 8 6 は、チャンネル 7 0 の内部に一時的に格納される。

10

【 0 0 5 0 】

図 8 において、チャンネル 7 0 は、図 7 に示された位置からおよそ 6 0 度の円弧を通して回転している。開口部 7 4 は今や、エンドカバー 6 6 のアパーチャ 8 0 と流体連通状態にあり、チャンネル 7 0 の開口部 7 2 は今や、エンドカバー 6 4 のアパーチャ 7 6 と流体連通状態にある。この位置で、高圧の第 1 の流体 8 8 が入り、低圧の第 2 の流体 8 6 を加圧して、第 2 の流体 8 6 を回転子チャンネル 7 0 からアパーチャ 8 0 を通って外に出す。

【 0 0 5 1 】

図 9 では、チャンネル 7 0 は、図 6 に示された位置からおよそ 2 7 0 度の円弧を通して回転している。この位置で、開口部 7 4 はもはや、エンドカバー 6 6 のアパーチャ 8 0 および 8 2 と流体連通状態になく、開口部 7 2 はもはやエンドカバー 6 4 のアパーチャ 7 6 および 7 8 と流体連通状態にない。したがって、第 1 の流体 8 8 はもはや加圧されず、回転子 4 6 がさらに 9 0 度回転してサイクルを再開するまで、チャンネル 7 0 の内部に一時的に格納される。

20

【 0 0 5 2 】

図 1 0 は、障壁システム 1 0 0 を有する回転子 4 6 の一実施形態の分解組立図である。以上で説明した通り、回転子 4 6 の回転は、第 1 および第 2 の流体間の圧力移送を可能にする。発電システム 4 内での第 1 の流体／原動力流体と第 2 の流体／超臨界流体の間の混合を阻止する目的で、回転液体ピストン圧縮機 1 0 は障壁システム 1 0 0 を含む。例示されているように、回転子 4 6 は、共に結合する第 1 の回転子区分 1 0 2 と第 2 の回転子区分 1 0 4 を含む。第 1 および第 2 の回転子区分 1 0 2、1 0 4 を有する回転子 4 6 を含むことによって、回転子 4 6 は、回転子 4 6 の内部に障壁システム 1 0 0 を受入れ保持することができる。例示されているように、第 1 の回転子区分 1 0 2 は、ボルト 1 1 0 を収容するアパーチャ 1 0 8 を有する端面 1 0 6 を含む。ボルト 1 1 0 は、これらのアパーチャ 1 0 8 を通過し、第 2 の回転子区分 1 0 4 内のアパーチャ 1 1 2 に入り、回転子 4 6 の第 1 および第 2 の区分 1 0 2、1 0 4 を結合させる。障壁システム 1 0 0 は、これらの回転子区分 1 0 2、1 0 4 の間に設置されて、障壁システム 1 0 0 を回転子 4 6 にしっかりと固定する。

30

【 0 0 5 3 】

障壁システム 1 0 0 は、プレート 1 1 4 を含み、このプレート 1 1 4 に複数の障壁 1 1 6 が結合されている。これらの障壁 1 1 6 は、回転子 4 6 のチャンネル 7 0 内で圧力を交換する際の第 1 および第 2 の流体間の接触／混合を阻止する折畳み可能なダイヤフラムである。以下で論述するように、これらの障壁 1 1 6 は、第 1 および第 2 の流体間で圧力が移送される際に膨張および収縮する。プレート 1 1 4 を回転子 4 6 に結合する目的で、プレート 1 1 4 は、第 1 の回転子区分 1 0 2 内のアパーチャ 1 0 8 および第 2 の回転子区分 1 0 4 内のアパーチャ 1 1 2 と整列する複数のアパーチャ 1 1 8 を含み得る。これらのアパーチャ 1 1 8 は、第 1 の回転子区分 1 0 2 が第 2 の回転子区分 1 0 4 に結合した時点でボルト 1 1 0 を収容し、プレート 1 1 4 の側方の動きを削減または阻止する。いくつかの実施形態において、第 1 の回転子区分 1 0 2 上のアパーチャ 1 0 8、第 2 の回転子区分 1 0

40

50

4 上のアパーチャ 1 1 2、およびプレート 1 1 4 上のアパーチャ 1 1 8 を、1 つ以上の直径（例えば内径および外径）上に設置することができる。このようにして、第 1 の回転子区分 1 0 2 および第 2 の回転子区分 1 0 4 は、結合された時点でプレート 1 1 4 を均等に圧縮することができる。いくつかの実施形態において、障壁 1 1 6 はプレート 1 1 4 に結合しないかまたはプレート 1 1 4 によって支持されなくてもよい。むしろ、各障壁 1 1 6 を個別に回転子 4 6 に結合してもよい。

【0054】

例示されているように、第 1 の回転子区分 1 0 2 は長さ 1 2 0 を画定し、第 2 の回転子区分 1 0 4 は長さ 1 2 2 を画定する。長さ 1 2 0 および 1 2 2 を変更することにより、回転子 4 6 は、回転子 4 6 の長さに沿ってチャンネル 7 0 内の異なる位置に障壁システム 1 0 0 を設置することを可能にする。このようにして、回転液体ピストン圧縮機 1 0 は、さまざまな動作条件に応じて適応され得る。例えば、なかでも 2 つの流体の密度および質量流量率の差および回転子 4 6 の回転速度は、圧力を交換するために回転子 4 6 のチャンネル 7 0 内のどこまで第 1 および第 2 の流体が流入できるかに影響を及ぼし得る。したがって、回転子 4 6 の第 1 および第 2 の回転子区分 1 0 2 および 1 0 4 の長さ 1 2 0 および 1 2 2 を変更することで、第 1 および第 2 の流体間の圧力交換を促進する位置（例えば回転子 4 6 を通った途中）に障壁システム 1 0 0 を設置することが可能になる。

【0055】

いくつかの実施形態において、冷凍システム 8 0 0 は、回転液体ピストン圧縮機 8 0 2 内での混合を阻止するように、第 1 および第 2 のループ 8 0 4 および 8 0 6 内を循環する流体を変更することができる。例えば、冷凍システム 8 0 0 は、異なる相にある別の流体での超臨界流体の拡散および可溶性を防止し得るか、または換言すると超臨界流体との混合を阻止できるイオン流体を第 1 のループ 8 0 4 内において使用することができる。冷凍システム 8 0 0 内の流体の変更と、回転液体ピストン圧縮機 8 0 2 内での流体の混合に対する冗長な抵抗を提供する障壁システム 1 0 0 とを組合せて用いてもよい。

【0056】

図 1 1 は、障壁システム 1 0 0 を有する回転子 4 6 の一実施形態の断面図である。以上で説明した通り、障壁システム 1 0 0 は、プレート 1 1 4 および障壁 1 1 6 を含むことができる。これらの障壁 1 1 6 は、チャンネル 7 0 の内部に置かれており、第 1 および第 2 の流体間の混合／接触を遮断する一方で、なおも圧力移送を可能にする。圧力移送を促進する目的で、障壁 1 1 6 は膨張し収縮する。図 1 1 に例示されている通り、複数の障壁 1 1 6 のうちの第 1 の障壁 1 4 0 は、膨張位置にある。動作中、第 1 の障壁 1 4 0 は、第 1 の流体 1 4 2 が回転子 4 6 内および第 1 の障壁 1 4 0 内に流入するにつれて膨張する。第 1 の障壁 1 4 0 は膨張するにつれて、第 2 の流体 1 4 4 を加圧して、それを回転子 4 6 外へ出す。同時に、加圧に対して備えて、第 2 の流体 1 4 4 が回転子 4 6 に入るにつれて、第 2 の障壁 1 4 6 が収縮状態になり得る。障壁 1 1 6 は、リブ 1 5 0 によって共に結合される複数のひだ 1 4 8（例えば、1、2、3、4、5 個以上）を含む。加圧された第 1 の流体 1 4 2 が回転子 4 6 内に流入するにつれて障壁 1 1 6 が体積を膨張させることができるようにするのは、これらの弾性ひだ 1 4 8 である。以下で論述するように、障壁 1 1 6 は、超臨界流体（例えば、二酸化炭素）と共に機能するための引張り強度、伸長百分率および化学的耐性を提供する 1 つ以上の材料でできていてよい。

【0057】

図 1 2 は、障壁システム 1 0 0 を有する回転子 4 6 の一実施形態の断面図である。図 1 2 に例示されているように、複数の障壁 1 1 6 のうちの第 1 の障壁 1 4 0 が、膨張位置にある。動作中、第 1 の障壁 1 4 0 は、第 1 の流体 1 4 2 が回転子 4 6 内および第 1 の障壁 1 4 0 内に流入するにつれて膨張する。第 1 の障壁 1 4 0 が膨張するにつれて、第 1 の障壁 1 4 0 は収縮し、第 2 の流体 1 4 4 を加圧して、それを回転子 4 6 の外へ出す。障壁 1 1 6 内の応力を低減するために、障壁システム 1 0 0 はばね 1 6 0 を含むことができる。ばね 1 6 0 は、障壁 1 1 6 の端部 1 6 2（例えば、端部部分、端面）およびプレート 1 1 4 に結合し得る。動作中、ばね 1 6 0 は、障壁 1 1 6 内の圧力が上昇するにつれて伸び、

10

20

30

40

50

障壁 116 は軸方向 164 に膨張する。ばね 160 は、障壁 116 が膨張するにつれて力を吸収することから、ばね 160 は障壁 116 の過膨張を阻止または低減することができる。ばね 160 は同様に、発電システム 4 の動作中に障壁 116 が繰返し膨張し収縮する障壁 116 の寿命を延ばすこともできる。ばねは同様に、障壁 116 のより制御された膨張率を提供することもできる。

【0058】

いくつかの実施形態において、ばね 160 は、障壁 116 の外部表面 168 に結合しかつ／または障壁 116 の外側に設置されることができる。他の実施形態において、ばね 160 は、内部表面 170 に結合しかつ／または障壁 116 の内部（すなわち障壁 116 の膜の内部）に設置されることができる。さらに他の実施形態において、障壁システム 100 は、障壁 116 の外側および内側の両方にばね 160 を含むことができる。ばね 160 は同様に、プレート 114 に結合する代りに回転子 46 に結合することもできる。例えば、回転子 46 の第 1 の回転子区分 102 と第 2 の回転子区分 104 の間にばね 160 の一部分を挟み込むことによって、ばね 160 を支持することができる。

【0059】

図 13 は、障壁システム 100 を有する回転子 46 の一実施形態の断面図である。図 13 において、障壁システム 100 は、平面障壁 190 を含む。例示されているように、平面障壁 190 は、上述の障壁 116 のようにチャンネル 70 内へ軸方向にではなく、チャンネル 70 を横断して（例えば、チャンネル 70 の長手方向軸に対し略交差する方向に）延在する。動作中、平面障壁 190 は、圧力移送をなおも可能にしながら、第 1 および第 2 の流体 142、144 の間の混合／接触を阻止する。圧力移送を促進するため、平面障壁 190 は圧力下で膨張し収縮する。図 13 に例示されている通り、複数の平面障壁 190 のうちの第 1 の平面障壁 192 は、膨張位置にある。第 1 の平面障壁 192 は、第 1 の流体 142 が回転子 46 内および第 1 の平面障壁 192 内に流入するにつれて、膨張する。第 1 の平面障壁 192 は、第 1 の流体 142 の圧力下で膨張するにつれて、第 2 の流体 144 と接触し、それを加圧して、それを回転子 46 外へ出す。加圧される準備のために、第 2 の流体 144 が回転子 46 に入るにつれて、第 2 の平面障壁 194 も同様に、同時に収縮した状態であってもよい。障壁 116 は、結合する複数のひだ 196（例えば、1、2、3、4、5 個以上）を含む。加圧された第 1 の流体 142 が回転子 46 内に流入するにつれて膨張し、圧力が解除された時点で収縮するのは、これらの弾性ひだ 148 である。

【0060】

図 14 は、図 11 のライン 14-14 に沿った障壁の一実施形態の断面図である。障壁 116 ならびに障壁 190 は、超臨界流体（例えば、二酸化炭素）と共に機能するための引張り強度、伸長百分率および化学的耐性を提供する 1 つ以上の材料でできていてよい。例えば、障壁 116、190 は、エチレンプロピレン、シリコン、ニトリル、ネオプレンなどの高伸張比のエラストマ材料を含み得る。これらの材料の高伸張比能力により、障壁 116、119 は、第 1 の流体 142 から圧力を吸収し、それを第 2 の流体 144 に移送可能になる。いくつかの実施形態において、障壁 116、119 は、高伸張比特性と高強度特性を組み合わせるために、高強度ファブリックの層の間に挟み込まれた高い伸張比率の材料の多数の層（例えば 1、2、3、4、5 個以上の層）を含むことができる。例えば、障壁 116、119 は、ファブリック層 212 に重複する 2 つのエラストマ層 210 を含むことができる。動作中、エラストマ層 210 は、化学的耐性ならびに高い伸張比率の能力を提供することができ、一方ファブリック層 212 は、障壁 116、190 の全体的な引張り強度を増大させることができる。

【0061】

図 15 は、図 11 のライン 14-14 に沿った障壁の一実施形態の断面図である。以上で説明したように、障壁 116、190 は、超臨界流体（例えば超臨界流体の温度および圧力）で機能するための引張り強度、伸長百分率および化学的耐性を提供する 1 つ以上の材料でできていてよい。いくつかの実施形態において、障壁 116、119 は、異なる材料の特性を組み合わせるために多数の層（例えば 1、2、3、4、5 個以上の層）を含むこ

とができる。例えば、障壁 116、119 は、ファブリック層 212 に重複する 2 つのエラストマ層 210（例えばエチレンプロピレン、シリコン、ニトリル、ネオプレンなど）を含むことができる。動作中、エラストマ層 210 は、化学的耐性ならびに高伸張比能力を提供することができ、一方ファブリック層 212 は、障壁 116、190 の引張り強度を増大させる。さらに、層 210 のうちの 1 つ以上が、コーティング 214 を含んでいてよい。コーティング 214 は、第 1 の流体および／または第 2 の流体との反応に耐える化学的耐性を有するコーティングであり得る。例えば、層 210 が、超臨界流体からこの層 210 を化学的に保護する最も外側の表面 216 上のコーティング 214 を含んでもよい。

【0062】

図 16 は、冷却システム 240（すなわち熱管理システム）を有する回転液体ピストン圧縮機 10（例えば回転 L P C）の一実施形態の断面図である。いくつかの実施形態において、冷却システム 240 は、回転液体ピストン圧縮機を取り囲むマイクロチャネルで製造された熱交換器を含み得る。図 1 の記述の中において以上で説明された通り、流体は、温度および圧力が変化するにつれて相を変化させる。臨界点より高い圧力および温度では、流体は、超臨界流体になる。冷凍システム 800 は、超臨界流体の特有の特性（例えば液体様の密度および気体様の粘度）のため、冷凍目的で流体（例えば二酸化炭素）をその超臨界状態／相で使用する。冷却システム 240 を有する回転液体ピストン圧縮機 10 内の温度を制御することにより、冷却システム 240 は、回転液体ピストン圧縮機 802 の内部において超臨界流体から気相への相変化を阻止することができる。さらに、冷却システム 240 は同様に、超臨界流体の圧縮中に熱が生成されるにつれてのエネルギーの除去を促進して、熱力学的により効率の良い圧縮様式である実質的に等温の圧縮を可能にすることもできる。以上で説明した通り、冷却システム 240 は、回転液体ピストン圧縮機 802 の壁と冷却システム 240 を通って循環する冷却流体との間の伝熱係数を促すために単位体積あたりの高い表面積を提供するマイクロチャネルを含むことができる。

【0063】

冷却システム 240 は、回転液体ピストン圧縮機ハウジング 244 の少なくとも一部分を取り囲む冷却ジャケット 242 を含む。冷却ジャケット 242 は、ハウジング 244 を包み込む複数の導管 246 を含んでいてよい。これらの導管 246 は、0.05 mm ～ 0.5 mm の直径を有するマイクロ導管であってよい。マイクロ導管を含めることによって、冷却システム 240 は、回転液体ピストン圧縮機 10 内の超臨界流体の温度を制御するために冷却表面積を増大させることができる。導管 246 は、複数の横列（例えば 1、2、3、4、5 本以上）および／または複数の縦列（例えば 1、2、3、4、5 本以上）に配設され得る。各導管 246 は、全ての他の導管 246 に対して流体結合されてよく、または、冷却システム 240 は導管 246 のサブセットに結合することができる。例えば、1 本の横列内の全ての導管 246 を、その横列内の他の導管 246 に結合するものの他の横列内の導管 246 には結合しないことも可能である。いくつかの実施形態において各導管 246 は、同じ縦列内の他の導管 246 には流体結合するものの、異なる縦列内の導管 246 には流体結合しない可能性もある。いくつかの実施形態において、導管 246 は、ハウジングまたはカバーリング 247 によって囲まれていてよい。ハウジングまたはカバーリング 247 は、ポリスチレン、グラスファイバウール、またはさまざまなタイプの発泡材などの、熱伝達を遮断しこれに耐える材料で作られていてよい。導管 246 を通る冷却流体の流量は、コントローラ 248 によって制御され得る。コントローラ 248 は、プロセッサ 250 およびメモリ 252 を含み得る。例えば、プロセッサ 250 は、アクチュエータ 98 の動作を制御するためのソフトウェアを実行するマイクロプロセッサであり得る。プロセッサ 250 は、多数のマイクロプロセッサ、1 つ以上の「汎用」マイクロプロセッサ、1 つ以上の特殊用途向けマイクロプロセッサ、および／または 1 つ以上の特定用途向け集積回路（A S I C S）またはそれらのいくつかの組合せを含み得る。例えば、プロセッサ 250 は、1 つ以上の縮小命令セット（R I S C）プロセッサを含み得る。

【0064】

メモリ２５２は、揮発性メモリ、例えばランダムアクセスメモリ（ＲＡＭ）、および／または不揮発性メモリ、例えば読取り専用メモリ（ＲＯＭ）を含み得る。メモリ２５２は、さまざまな情報を記憶することができ、さまざまな目的のために使用可能である。例えば、メモリ２５２は、プロセッサ２５０が実行するためのプロセッサ実行可能命令、例えばファームウェアまたはソフトウェアを記憶することができる。メモリは、ＲＯＭ、フラッシュメモリ、ハードドライブ、または他の任意の光学、磁気または固体記憶媒体またはそれらの組合せを含むことができる。メモリは、データ、命令、および任意の他の好適なデータを記憶することができる。

【００６５】

動作中、コントローラ２４８は、超臨界流体の温度および／または圧力を直接的または間接的に検出する１つ以上のセンサ２５４（例えば温度センサ、圧力センサ）からフィードバックを受信する。センサ２５４からのフィードバックを用いて、コントローラ２４８は、冷却流体源２５６（例えば冷却装置システム、空調システム）からの冷却流体の流量率を制御する。

【００６６】

図１７は、加熱システム２８０（すなわち熱管理システム）を有する回転液体ピストン圧縮機８０２（ＲＬＰＣ）の一実施形態の断面図である。動作中、加熱システム２８０は、回転液体ピストン圧縮機８０２を通して循環する流体（すなわち超臨界流体）の温度を制御することができる。温度を制御することにより、加熱システム２８０は、非等エントロピ膨張に起因する流体の凝縮および／またはドライアイス形成を阻止または低減することができる。

【００６７】

加熱システム２８０は、回転液体ピストン圧縮機ハウジング２４４の少なくとも一部分を取り囲む加熱ジャケット２８２を含む。加熱ジャケット２８２は、ハウジング２４４を包み込む複数の導管またはケーブル２８４を含んでいてよい。これらの導管またはケーブル２８４は、超臨界流体の温度制御を可能にする。例えば、導管２８４は、超臨界流体に熱を伝達する加熱流体を搬送し得る。いくつかの実施形態において、ケーブル（単複）２８４（例えばコイル）は、ケーブル２８４の電気抵抗に起因する熱を生成する電流を搬送する。導管２４６は同様に、ハウジングまたはカバーリング２８６によって囲まれていてよい。ハウジングまたはカバーリング２８６は、ポリスチレン、グラスファイバウール、またはさまざまなタイプの発泡材などの、熱伝達を遮断しこれに耐える材料で作られていてよい。

【００６８】

導管またはケーブル２８４を通る加熱流体または電流の流量は、コントローラ２４８によって制御される。動作中、コントローラ２４８は、超臨界流体の温度および／または圧力を直接的または間接的に検出する１つ以上のセンサ２５４（例えば温度センサ、圧力センサ）からのフィードバックを受信することができる。例えば、センサ２５４は、（例えば超臨界流体を格納するキャビティの内部で）超臨界流体と直接接触した状態で設置されてよい。いくつかの実施形態において、センサ２５４は、ハウジング２４４、スリーブ４４、エンドカバー６４、６６内に設置され得る。センサ２５４の周りの材料が、超臨界流体の温度および／または圧力の変化に応答するにつれて、センサ２５４はこの変化を検知し、この変化をコントローラ２４８に伝達する。コントローラ２４８は、次にこれを、実際の超臨界流体の温度および／または圧力に相関させる。センサ２５４からのフィードバックを用いて、コントローラ２４８は、導管２８４を通る加熱流体源２８８（例えばボイラ）からの加熱流体の流量率を制御する。同様にして、加熱システム２８０が電気抵抗加熱システムである場合、コントローラ２４８は、センサ２５４のうちの１つ以上からのフィードバックに応答して、ケーブル２８４を通る電流の流量を制御することができる。

【００６９】

図１８および１９は、従来のジュールトムソン膨張弁ベースの冷却ではなく、回転圧力交換器ベースの超臨界二酸化炭素冷凍システムを使用するスーパーマーケットシステムア

10

20

30

40

50

ーキテクチャ (architecture) 300、302の2つの例を示す。第1のアーキテクチャ300 (図18)では、(低压出口305を介した)回転圧力交換器304からの2相低压流出流 (例えば二酸化炭素気体/液体混合物)は、気相と液相を分離するフラッシュタンク306を通して進む。二酸化炭素液相は、低温 (例えばおよそ摂氏-20度 (C)) および中温 (例えばおよそ-4℃) の熱負荷/蒸発器308、310 (例えばそれぞれスーパーマーケットの冷凍庫セクションおよび冷蔵庫セクション) まで輸送され、ここで二酸化炭素液相は熱を奪って過熱状態となる。これは気相/液相の二相ではなくむしろ純粋に液相であることから、より大きな熱吸収 (すなわち冷却) 能力を有する。流量制御弁312、314が (例えばコントローラからの制御信号に応答して)、それぞれの熱負荷308、310に対する液体二酸化炭素の流量を調節することができる。冷凍庫セクション308からの過熱された二酸化炭素の蒸気は、このとき、低温圧縮機316まで進み、その後、同じ圧力で、冷蔵庫セクション310からの過熱された二酸化炭素の蒸気およびフラッシュタンク306内の気体/液体混合物から分離された分離済みの過熱された気相の二酸化炭素と再び一体化する。制御弁318 (例えばフラッシュガス制御弁) が、(例えばコントローラからの制御信号に応答して) フラッシュタンク306から流れる過熱された気体の二酸化炭素の流量を調節することができる。この再度一体化した過熱された気体の二酸化炭素は、次に、低压入口ポート320において回転圧力交換器304に入り、システム内の最高圧力 (例えば、システム要件に応じておよそ10, 342 kPa (1500 psi) またはおよそ14, 479 kPa (2100 psi)) まで圧縮され、超臨界二酸化炭素に変換される。超臨界二酸化炭素は、(高压出口322を介して) 回転圧力交換器304から退出し、最高圧力にある熱交換器324まで進み、そこで熱を環境に放出し、冷却する。一部の実施形態において、熱交換器324は、亜臨界二酸化炭素で使用される気体凝縮器である。ガス冷却器324から、超臨界二酸化炭素は、回転圧力交換器304の高压入口326まで流れる。従来の圧縮機に比べて非常に少ないエネルギー消費量で、(回転圧力交換器304からの経路とガス冷却器324の間に示されている) 小型圧縮機328 (例えば低DPの循環圧縮機) を使用することによって、システム内の流体抵抗および回転圧力交換器304内の小さい差圧を克服するのに必要とされるわずかな圧力上昇を提供することができる。

【0070】

熱交換器324は、超臨界状態または亜臨界状態の二酸化炭素を高压で循環させるため高压分岐に沿って配置されている。低温蒸発器308および低温圧縮機316は、液体状態、気体または蒸気状態または液体と蒸気の2相混合物で低压 (すなわち高压分岐内の圧力よりも低い圧力) の二酸化炭素を循環させるため、低压分岐に沿って配置されている。中温蒸発器310および弁314は、高压分岐および低压分岐内の冷媒のそれぞれの圧力の間の中間圧で冷媒を循環させる中間圧分岐に沿って配置されている。中間圧分岐内の冷媒の中間圧は、蒸発器310における飽和圧力に等しい。フラッシュタンク306から退出して回転圧力交換器304の入口320へと直接流れる冷媒は、中間圧にある。したがって、回転圧力交換器304は、中間圧分岐および高压分岐に対し流体結合される。回転圧力交換器304は、高压分岐から高压の冷媒を受け入れ、中間圧分岐から蒸気状態、液体状態または液体と蒸気の2相混合物の形で中間圧の冷媒を受け入れ、高压の冷媒と中間圧の冷媒の間で圧力を交換する。回転圧力交換器から、超臨界状態または亜臨界状態で高压にある冷媒の第1の退出流、および液体状態にあるかまたは液体と蒸気の2相混合物の形をした中間圧にある冷媒の第2の退出流が退出する。

【0071】

第2のアーキテクチャ302 (図19) においては、フラッシュタンクからの分離済みの気相の二酸化炭素のみが低压入口320において、回転圧力交換器304を通して再度送られ、システム内で最高の圧力まで圧縮される。それぞれ冷凍庫セクション308および冷蔵庫セクション310からの過熱された気体の二酸化炭素は、低温圧縮機316および中温圧縮機330へと流れる。低温圧縮機の退出流は、中温圧縮機330に向かう前に、冷蔵庫セクション310からの過熱された気体の二酸化炭素と組合わされる。中温圧縮

10

20

30

40

50

機の退出流量（例えば、超臨界二酸化炭素）は、回転圧力交換器 304 を（高圧出口 322 を介して）退出する超臨界二酸化炭素と組み合わせ、ここで、ガス冷却器 324 を通って進む前にすでに圧縮済みの低温圧縮機の退出流量および中温圧縮機の退出流量（フラッシュタンク 306 と同じ圧力にある過熱された気体の二酸化炭素）と組み合わせる。このようなアーキテクチャは、いくつかの冷凍シナリオにおいて利点を有する可能性がある。

【0072】

熱交換器 324 は、超臨界状態または亜臨界状態の二酸化炭素を高圧で循環させるため高圧分岐に沿って配置されている。低温蒸発器 308 および低温圧縮機 316 は、液体状態、気体または蒸気状態でまたは液体と蒸気の 2 相混合物の形で、低圧（すなわち高圧分岐内の圧力よりも低い圧力）で二酸化炭素を循環させるため、低圧分岐に沿って配置されている。中温蒸発器 310 および弁 314 は、低圧分岐および第 2 の中圧分岐内の冷媒のそれぞれの圧力の間の第 1 の中間圧にある冷媒を循環させる第 1 の中間圧分岐に沿って配置されている。第 2 の中間圧分岐は、フラッシュタンク 306 と回転圧力交換器 304 の間にある。中間圧分岐内の冷媒の第 1 の中間圧は、蒸発器 310 における飽和圧力に等しい。フラッシュタンク 306 から退出して回転圧力交換器 304 の入口 320 へと直接流れる冷媒は、高圧分岐および第 1 の中間圧分岐内のそれぞれの圧力の間の第 2 の中間圧にある。したがって、回転圧力交換器 304 は、第 2 の中間圧分岐および高圧分岐に対し流体結合される。回転圧力交換器 304 は、高圧分岐から高圧の冷媒を受け入れ、第 2 の中間圧分岐から蒸気状態、液体状態でまたは液体と蒸気の 2 相混合物の形で第 2 の中間圧の冷媒を受け入れ、高圧の冷媒と第 2 の中間圧の冷媒の間で圧力を交換する。回転圧力交換器から、超臨界状態または亜臨界状態で高圧にある冷媒の第 1 の退出流、および液体状態にあるかまたは液体と蒸気の 2 相混合物の形をした第 2 の中間圧にある冷媒の第 2 の退出流が退出する。

【0073】

図 20 は、回転圧力交換器または回転液体ピストン圧縮機 572 内の流体（例えば超臨界二酸化炭素、過熱された気体の二酸化炭素）の動きを制御する制御システム 570 の一実施形態の概略図である。以上で説明した通り、回転液体ピストン圧縮機を用いて 2 つの流体間でエネルギーを交換することができる。例えば、回転液体ピストン圧縮機 572 は、上述の冷凍システム内で 2 つの流体間でエネルギーを交換するために使用可能である。流体ループ 576 内での過熱された気体の二酸化炭素 574 または 2 相気体／液体二酸化炭素混合物 575 の移送を低減しかつ／または、作動流体（すなわち過熱された二酸化炭素 580）を循環させる流体ループ 578 に入るのを阻止する目的で、制御システム 570 は、作動流体 580 の流量率に回答して回転液体ピストン圧縮機 572 内への過熱された気体の二酸化炭素 574 の流量率を制御することができる。すなわち、過熱された気体の二酸化炭素 574 の流量率を制御することによって、制御システム 570 は、過熱された気体の二酸化炭素 574 が、回転液体ピストン圧縮機 572 を通って完全に流れて（すなわち図 5 に見られるチャネル 70 から完全に流れて）そして作動流体ループ 578 内へと流れるのを阻止および／または制限することができる。

【0074】

過熱された気体の二酸化炭素 574 の流量率を制御する目的で、制御システム 570 は、回転液体ピストン圧縮機 572 に入る過熱された気体の二酸化炭素 574 の量を制御する弁 582 を含む。センサ 586 および 588 は、過熱された気体の二酸化炭素 574 および作動流体 580 のそれぞれの流量率を検知し、流量率を標示する信号を発出する。すなわち、センサ 586 および 588 は、回転液体ピストン圧縮機 572 内への過熱された気体の二酸化炭素 574 および作動流体 580 のそれぞれの流量率を測定する。コントローラ 584 は、センサ 586、588 から信号を受信し処理して、過熱された気体の二酸化炭素 574 および作動流体 580 の流量率を検出する。

【0075】

検出された流量率に回答して、コントローラ 584 は、弁 582 を制御して、作動流体ループ 578 内への過熱された気体の二酸化炭素 574 の移送を阻止および／または削減

する。例えば、コントローラ 584 がセンサ 588 により流量率低下を検出した場合、コントローラ 584 は、低下した流量率を、作動流体が回転液体ピストン圧縮機 572 内へ方向 590 でどれだけ深く入り込んだかに関連付けることができる。したがって、コントローラ 584 は、過熱された気体の二酸化炭素 574 を回転液体ピストン圧縮機 572 から方向 592 に出すことなく、作動流体 580 を回転液体ピストン圧縮機 572 から方向 592 に出す回転液体ピストン圧縮機 572 内への過熱された気体の二酸化炭素 574 の関連付けられた流量率を決定できる。換言すると、コントローラ 584 は、回転液体ピストン圧縮機 572 内への作動流体 580 の流量率が、過熱された気体の二酸化炭素 574 の流量率より大きくなるようにして、作動流体ループ 578 内への過熱された気体の二酸化炭素 574 の流量を阻止するように弁 582 を制御する。

10

【0076】

例示されているように、コントローラ 584 は、プロセッサ 594 およびメモリ 596 を含むことができる。例えば、プロセッサ 594 は、センサ 586、588 からの信号を処理し、それに応答して弁 582 の動作を制御するためのソフトウェアを実行するマイクロプロセッサであってよい。

【0077】

図 21 は、回転液体ピストン圧縮機 622 内の流体（例えば超臨界二酸化炭素、過熱された気体の二酸化炭素）の動きを制御する制御システム 620 の一実施形態の概略図である。以上で説明した通り、回転液体ピストン圧縮機またはポンプを用いて 2 つの流体間でエネルギーを交換することができる。例えば、回転液体ピストン圧縮機 622 は、上述の冷凍システム内で 2 つの流体間でエネルギーを交換するために使用可能である。流体ループ 626 内での過熱された気体の二酸化炭素 624 または 2 相気体／液体二酸化炭素混合物 625 の移送を削減しかつ／または、作動流体 630（例えば過熱された二酸化炭素）を循環させる作動流体ループ 628 に入るのを阻止する目的で、制御システム 620 は、作動流体 630 の流量率および過熱された気体の二酸化炭素 624 の流量率に応答して回転液体ピストン圧縮機 622 内の回転子チャネル内部で二酸化炭素が軸方向に走行する距離を制御することができる。制御システム 620 は、回転液体ピストン圧縮機 622 の回転子の回転速度を減速または加速することによって駆動流体の動きを制御する。すなわち、回転速度を制御することによって、制御システム 620 は、過熱された気体の二酸化炭素 624 が、完全に回転液体ピストン圧縮機 622 を通って（すなわち、完全に、図 5 に見られるチャネル 70 を通って）そして作動流体ループ 628 内へと流れないように阻止および／または制限することができる。

20

30

【0078】

作動流体 630 と過熱された気体の二酸化炭素 624 の混合を削減する目的で、制御システム 620 は、モータ 632 を含む。モータ 632 は、回転子（例えば図 5 に見られる回転子 46）の回転速度ひいては、過熱された気体の二酸化炭素 624 が回転子のチャネル内にどれほどの軸方向長さまで流入できるかを制御する。回転子が速く回転すればするほど、過熱された気体の二酸化炭素および作動流体が回転子のチャネル内に流入しなければならない時間は短くなり、こうして過熱された気体の二酸化炭素／プロセス流体が占有する回転子チャネルの軸方向長さは短くなる。同様に、回転子が低速で回転すればするほど、過熱された気体の二酸化炭素および作動流体が回転子のチャネル内に流入しなければならない時間は長くなり、こうして、過熱された気体の二酸化炭素／プロセス流体が占有する回転子チャネルの軸方向長さは長くなる。

40

【0079】

制御システム 620 は、モータを制御するための可変周波数ドライブおよび、過熱された気体の二酸化炭素 624 および作動流体 630 のそれぞれの流量率を検知し、流量率を標示する信号を発出するセンサ 634 および 636 を含んでいてよい。コントローラ 638 は、過熱された気体の二酸化炭素 624 および作動流体 630 の流量率を検出するための信号を受信し処理する。検出された流量率に応答して、コントローラ 638 は、作動流体ループ 578 内への過熱された気体の二酸化炭素 624 の移送を阻止および／または削

50

減するためにモータ 6 3 2 の速度を制御するコマンド (c o m m a n d) を可変周波数ドライブに送る。例えば、コントローラ 6 3 8 が、センサ 6 3 6 を用いて作動流体 6 3 0 の流量率の低下を検出した場合、コントローラ 6 3 8 は、この流量率を、作動流体が回転液体ピストン圧縮機 6 2 2 のチャンネル内へ方向 6 4 0 にどこまで移動したかを関連付けできる。したがって、コントローラ 6 3 8 は、回転液体ピストン圧縮機 6 2 2 から方向 6 4 2 に過熱された気体の二酸化炭素 6 2 4 を外へ出すことなく、回転液体ピストン圧縮機 6 2 2 から方向 6 4 2 に作動流体 6 3 0 を外へ出すモータ 6 3 2 の関連付けされた速度を決定することができる。

【 0 0 8 0 】

過熱された気体の二酸化炭素に比べて作動流体の瞬間流量率が低いことに応答して、コントローラ 6 3 8 は、可変周波数ドライブを通してモータ 6 3 2 を制御し、回転液体ピストン圧縮機 6 2 2 の回転速度を上昇（すなわち毎分の回転数を増大）させて、回転液体ピストン圧縮機 6 2 2 のチャンネルの内部で過熱された気体の二酸化炭素 6 2 4 が走行できる軸方向長さを短縮させる。同様にして、作動流体 6 3 0 の瞬間的流量率が、駆動流体に比べて過度に高い場合、コントローラ 6 3 8 は、回転液体ピストン圧縮機 6 2 2 の回転速度を削減して、作動流体 6 3 0 を回転液体ピストン圧縮機 6 2 2 から外に出すために回転液体ピストン圧縮機 6 2 2 のチャンネル内へと過熱された気体の二酸化炭素 6 2 4 が走行する軸方向距離を増大させる。

【 0 0 8 1 】

例示されているように、コントローラ 6 3 8 は、プロセッサ 6 4 4 およびメモリ 6 4 6 を含むことができる。例えば、プロセッサ 6 4 4 は、センサ 6 3 4、6 3 6 からの信号を処理し、それに応答してモータ 6 3 2 の動作を制御するためのソフトウェアを実行するマイクロプロセッサであってよい。

【 0 0 8 2 】

以上で指摘したように、圧縮のほぼ全てが回転圧力交換器の内部で行われることから、一部の実施形態において、主圧縮機（例えばバルクフロー圧縮機）を完全にまたは部分的に削除することが可能である。例えば、圧縮機は、非常に低い差圧のガスブロウまたは、仕事を極めてわずかしき消費しない（それを横切るエンタルピー変化が非常にわずかであるため）循環ポンプにより置換可能である。図 2 2 A は、（例えばバルクフロー圧縮機の代りに低流量且つ高 D P のリークポンプ (l e a k a g e p u m p) および低 D P で高流量の循環ポンプを有する）回転圧力交換器または回転液体ピストン圧縮機 (L P C) 9 0 2 を有する冷凍システム 9 0 0 （例えば超臨界二酸化炭素冷凍システム）の一実施形態の概略図である。概して、冷凍システム 9 0 0 は図 2 中の冷凍システム 8 0 0 と類似している。

【 0 0 8 3 】

描かれている通り、冷凍システム 9 0 0 は、第 1 の流体ループ 9 0 4 および第 2 の流体ループ 9 0 6 を含む。第 1 の流体ループ（高圧ループ）9 0 4 は、ガス冷却器または凝縮器 9 0 8、高圧、高流量、低 D P の多相流 (m u l t i - p h a s e) 循環ポンプ 9 0 9、および回転圧力交換器 9 0 2 の高圧側を含む。第 2 の流体ループ（低圧ループ）9 0 6 は、蒸発器 9 1 0（例えば冷却または熱負荷）、低圧、高流量、低 D P の多相流循環ポンプ 9 1 1 および回転圧力交換器 9 0 2 の低圧側を含む。回転圧力交換器 9 0 2 は、高圧および低圧ループ 9 0 4、9 0 6 を流体結合する。さらに、低流量でありながら高 D P で動作する多相流リークポンプ 9 1 3 は、低圧出口 9 2 0 から低圧で存在する圧力交換器 9 0 2 からのあらゆるリーク (l e a k a g e) を取り出し、それを、圧力交換器 9 0 2 の高圧入口 9 1 4 のすぐ上流側で、高圧ループ 9 0 4 内に戻す。高圧ループ 9 0 4 内の多相流ポンプ 9 0 9 は、ループ 9 0 4 内の小さな圧力損失を克服することにより、高圧ループ 9 0 4 内で必要とされる流量率の維持を保証する。ポンプ 9 0 9 を横切る差圧がさほど多く存在しないため、このポンプは非常にわずかなエネルギーしか消費しない。この多相流ポンプ 9 0 9 内に入る流量は、ガス冷却器／凝縮器 9 0 8 の出口 9 3 6 からのものであり、超臨界状態、液体状態にあり得、あるいは、液体と蒸気の 2 相混合物であり得と考えられ

10

20

30

40

50

る。ポンプ 909 を横切ってさほど大きな圧力上昇が存在しないため、ポンプ 909 から退出する流量は、そのとき圧力交換器 902 の高圧入口 914 に入る流入流量と同じ状態にあると考えられる。圧力交換器 902 の低圧出口 920 からの流量は、2 相液体－蒸気状態または純粋な液体状態にあり得ると考えられる。

【0084】

低圧ループ 906 内の多相流ポンプ 911 は、冷媒のこのバルク低圧流量を、蒸発器 910 を通って循環させて圧力交換器 902 の低圧入口 918 に送る。多相流ポンプ 911 は同様に、それを横切る差圧（すなわち、システム内のあらゆる圧力損失を克服するのに十分なだけのもの）が極めてわずかにしか有さず、したがって、ポンプ 911 は、従来のバルクフロー高圧圧縮機と比べて極わずかなエネルギーしか消費しない。低圧多相流ポンプ 911 は、蒸発器 910 を通って流量を循環させ、蒸発器 910 内で熱を獲得し、それ自体を純粋な蒸気状態またはより高い蒸気含有率の 2 相液体－蒸気混合物に変換する。この高蒸気含有率の流量は次に、圧力交換器 902 の低圧入口 918 に入り、高圧に加圧される。これによって、今度は、熱力学の標準的法則によって流体の温度も同様に上昇する。この高圧でより高温の流体は、その後、圧力交換器 902 の高圧出口 922 から退出する。高圧出口 922 から退出する流体は、超臨界状態にあり得るか、または、システムがどのように最適化されているかに応じて亜臨界状態または、高い蒸気含有量を有する液体と蒸気の混合物として存在し得ると考えられる。この高圧、高温の冷媒は次に、高圧ループ 904 のガス冷却器／凝縮器 908 に入り、熱を周囲環境に放出する。熱を放出することによって、冷媒は、冷却する（超臨界状態にある場合）か、または液体状態に相を変化させる。高圧ループ 904 内の多相流ポンプ 909 は、このとき、この液体冷媒を受け入れ、それを先に説明した通り、高圧ループ 904 を通して循環させる。

【0085】

圧力交換器 902 内に内部リークが全く存在しない場合には、高圧ループ 904 は、恒常な高圧にとどまることになり、低圧ループ 906 は、恒常な低圧にとどまることになる。しかしながら、圧力交換器 902 の内部で高圧側から低圧側への内部リークが存在する場合には、高圧ループ 904 から低圧ループ 906 への流量の正味移動が存在すると考えられる。この移動を考慮しこのリーク流量を高圧ループ 904 内に圧送し戻すために、高差圧で低流量のリークポンプである第 3 の多相流ポンプ 913 が使用される。ポンプ 913 は、低圧で低圧ループ 906 内にリークするあらゆる余剰の流量を取り上げ、それを高圧ループ 904 へと圧送し戻して、それぞれのループ 904、906 内の質量平衡および圧力を維持する。低圧ループ 906 内で、圧力交換器 902 の低圧出口 920 と低圧多相流ポンプ 911 の入口の間に、三方弁 915 が配置されている。弁 915 は、流量を分割し、圧力交換器 902 の低圧出口 920 から来る余剰の流量だけを高 DP の多相流ポンプ 913 に導くことを可能にする。ポンプ 913 は同様に、冷媒の圧縮可能性および圧力交換器 902 に入りここから離れる 4 つの流れの間の密度差に起因して、低圧出口 920 から来るあらゆる追加の流量の圧送をも可能にする。ポンプ 913 は同様に、低圧ループ 906 の圧力を恒常な低圧にそして高圧ループ 904 の圧力を恒常な高圧に維持するのを助ける。高圧多相流ポンプ 909 の出口と圧力交換器 902 の高圧入口 914 の間で、高圧ループ 904 内に別の三方弁 917 が配置される。弁 917 は、高 DP の多相流ポンプ 913 に由来するリーク／余剰流量と、高圧多相流ポンプ 909 から来る高圧のバルク流量とを組合わせてから、圧力交換器 902 の高圧入口 914 内にそれを送ることを可能にする。多相流ポンプ 913 を横切る差圧は高いものであるものの、それが圧送しなければならない流量は、極わずかである（例えば、他の 2 つのポンプ 909、911 のいずれかを通して進むバルク流量のおよそ 1～10 パーセント）。したがって、ポンプ 913 のエネルギー消費量も同様に比較的低い。3 つの多相流ポンプ 909、911、913 全てのエネルギー消費量を加算した場合、それはそれでもなお、システム内の最低圧力（すなわち蒸発器の圧力）からシステム内の最高圧力（すなわち凝縮器／ガス冷却器の圧力）まで、バルク流量全体を加圧するために使用される従来の圧縮機のエネルギー消費量よりもはるかに低いものであると思われる。これが、この構成の主要な利点である。

10

20

30

40

50

【0086】

図22Bは、バルク流圧縮機無しの冷凍システム923の別の実施形態を実証している。それは、圧力変換器902の低圧出口920から退出する（圧力変換器902の内部リークに起因するかまたは、先に説明した通り圧力変換器902に入るおよびこれから退出する4つの流れの圧縮可能性および密度差に起因する）あらゆる余剰流量が、バルブ低圧流量と共に蒸発器910を通して圧送され、高圧ループ904内に圧縮し戻される前に蒸気へと変換される、という点を除いて、図22Aに示されたシステム900と類似している。したがって、図22Aの高DPの低流量の多相流リークポンプ913は、図22Bに示されている通りの高DPの低流量のリーク圧縮機925によって置換される。リーク圧縮機（leakage compressor）925は、余剰流量を低圧蒸気状態から高圧蒸気状態へ、または超臨界状態へと圧縮した後で、高圧ループ904内に注入する。余剰流量のこの再注入の場所も同様に、図22A中のものに比べて異なっている。リーク圧縮機925から退出する蒸気状態または超臨界状態の冷媒は、（リーク圧縮機の出口圧力と同じ圧力にある）圧力変換器902の高圧出口922の下流側で注入される。図22Bに示されているように、低圧ループ906内のバルク流量からの余剰流量を、リーク圧縮機925を通して送る前に分割することを可能にするために、蒸発器910の下流側に三方弁927が配置される。同様にして、リーク圧縮機925から退出する高圧のリーク流量と圧力変換器902から退出する高圧のバルク流量との再組合せを可能にするため、圧力変換器902の下流側に三方弁929が配置される。この組合わされた高圧流量は、次に、先に説明した通り、ガス冷却器／凝縮器908へと進む。図22A中のものに比べたこの構成の利点は、それが、蒸発器910を通過する追加の流量（低圧出口920から来る余剰流量）に起因してサイクルに追加の熱吸収能力を提供するという点にある。一方で、このサイクルのエネルギー消費量は、リーク圧縮機925によって消費されるエネルギーが多相流リークポンプ913によって消費されるエネルギーよりもわずかに高くなるため、図22Aで示されたシステム900のものに比べてわずかに大きいものであると思われる。これは、冷媒が、多相流循環ポンプ913では部分的なまたは完全な液体状態で圧送されるのとは異なり、リーク圧縮機925においては完全に蒸気状態で高圧に圧縮されるからである。

【0087】

冷凍システム923内で発生する熱力学的プロセスは、図23および24を参照してさらに詳細に説明される。図23および24は、冷凍システム900の4つの主要構成要素において発生する熱力学的プロセスを示すため、それぞれ温度－エントロピ（T－S）線図926および圧力－エンタルピ（P－H）線図928を例示している。点1は、リーク圧縮機入口930を表わす（図22B参照）。点2は、リーク圧縮機出口932およびガス冷却器入口934を表わす。点3は、ガス冷却器出口936および回転圧力交換器902の高圧入口914を表わす。点4は、回転圧力交換器902の低圧出口920および蒸発器入口938を表わす。図23および24で例示されているように、リーク圧縮機925は、冷媒作動流体（例えば二酸化炭素）の圧力ひいては温度を環境よりも高い温度まで上昇させ、そこで、より高温の外部環境へと熱を放出することができる。これは、ガス冷却器908の内部で発生する。超臨界二酸化炭素システムのガス冷却器908においては、二酸化炭素が超臨界状態にあることから、相境界は存在せず、二酸化炭素は2相ドーム940の上方にある。したがって、二酸化炭素が熱を環境へと放出した時点で、温度は降下する。図23および24に例示されているように、ガス冷却器出口936における超臨界状態にある二酸化炭素は、高圧入口ポート914において回転圧力交換器902に入り、等エントロピまたは等エントロピに近い（およそ85パーセントの等エントロピ効率）膨張を受け、2相の気体－液体二酸化炭素混合物として回転圧力交換器902の低圧出口ポート920において退出する。点4にある2相の二酸化炭素は次に、蒸発器910内で熱を吸収する（プロセス4→1、恒常エンタルピプロセス）。全体として、線図926、928は、冷却能力の増大および圧縮機仕事負荷の低下に起因するサイクル効率のメリットを例示している。回転圧力交換器902内部の膨張は、等エントロピで発生することか

10

20

30

40

50

ら、それは、蒸発器 910 から来る流体をシステム 900 内の全圧まで圧縮するために利用可能であるエンタルピー変化を創出する。これにより、バルクフロー圧縮機によって行なわれたはずのあらゆる仕事は著しく削減され、こうして、（著しく少ないエネルギーしか消費しない）リーク圧縮機 925 によるその置換が可能となる。

【0088】

図 25 は、循環ポンプの代りに低 DP の循環圧縮機を使用する冷凍システム 931 の概略図である。循環圧縮機は、システム 900 全体を通して流体流量を維持することによって、システム 931 内の最小圧力損失を克服する。このシステムと図 22A および図 22B に示されたシステム 900、923 の間の差異は、低圧ループ 906 および高圧ループ 904 内のバルク流量の循環が、低 DP の多相流循環ポンプを使用する代りに低 DP の循環圧縮機を使用して達成されることにある。同様に、これらの循環圧縮機の場所も異なっている。例えば、低圧ループ 906 内の循環圧縮機 941（圧縮機 1）は、蒸発器 910 が蒸気状態で冷媒を循環させるこの蒸発器の下流側に位置付けされている。同様にして、高圧ループ 904 内の循環圧縮機 944（圧縮機 2）は、圧力変換器 902 が超臨界状態または高圧蒸気状態で冷媒を循環させる圧力変換器の高圧出口 922 の下流側に位置付けされている。圧縮機 3 は、圧縮機 925 が蒸気状態で圧力変換器 902 から低圧ループ 906 に入る余剰流量（例えば圧力変換器 902 からのリーク流量）を取り上げ、それを高圧蒸気状態としてかまたは超臨界状態で高圧ループ 904 内へと圧縮し戻す、図 22B に関連して説明された高 DP で低流量のリーク圧縮機 925 に類似している。この余剰流量は次に、ガス冷却器／凝縮器 908 へと進む前に、圧縮機 944 から来た高圧のバルク流量と組合わされる。第 2 の流体ループ 906（例えば低圧流体ループ）に沿って配置された低 DP の循環圧縮機 941 は、（例えば回転圧力交換器 902 とガス冷却器 908 の間で）ループ 906 に沿って流体流量を維持する。さらに、第 1 の流体ループ 904（例えば高圧流体ループ）に沿って配置された低 DP の循環圧縮機 944 は、（例えば蒸発器 910 と回転圧力交換器 902 の間で）ループ 904 に沿って流体流（fluid flow）を維持する。一部の実施形態において、冷凍システム 931 は、圧縮機 925 および 941 のみを含み得る。一部の実施形態において、冷凍システム 900 は、圧縮機 944 および 941 のみを含み得る。一部の実施形態において、圧縮機 941、944 は各々、以下でさらに詳細に指摘するように、それらを横切って、リーク圧縮機 925 よりも著しく低い差圧を有する。

【0089】

一部の実施形態において、（例えば図 25 の丸 2 に近くで）圧縮機 925、944 から退出する流量間の接合部に、三方弁が配置されている。この三方弁は、高圧分岐 904 内の高圧、高流量且つ低 DP の循環圧縮機 944 とガス冷却器または凝縮器 908 の間に配置されており、ここで冷凍システム 931 の動作中、高 DP で低流量のリーク圧縮機 925 からの第 1 の流量が、ガス冷却器または凝縮器 908 の入口 934 へと進む前に、高圧、高流量且つ低 DP の循環圧縮機 944 から退出するバルク流量と組合わされる。高圧、高流量且つ低 DP の循環圧縮機 944 は、回転圧力交換器 902 の高圧出口 922 とこの三方弁の間に配置されている。

【0090】

同様に、一部の実施形態においては、圧縮機 925、941 に向かって分岐する蒸発器 910 の下流側の接合部（例えば図 25 で円内の 1 の近く）に、別の三方弁が配置されている。この三方弁は、低圧分岐 906 内の蒸発器 910 と回転圧力交換器 902 の間に配置されており、ここで、冷凍システム 931 の動作中、蒸発器 910 から退出する流量の一部が三方弁を通して、高 DP で低流量のリーク圧縮機 925 の入口へと迂回させられ、流量の残りの部分は、回転圧力交換器 902 の低圧入口 918 へと進む。低圧、高流量且つ低 DP の循環圧縮機は、この三方弁と回転圧力交換器 902 の低圧入口の間に配置される。

【0091】

従来の冷凍システム（すなわち、超臨界二酸化炭素冷凍システム）において、バルクフ

10

20

30

40

50

ロー圧縮機は、毎分およそ113.56リットル（30ガロン）の流量率そしておよそ10,342kPa（1,500psi）の差圧で動作する。これらの動作条件を仮定すると、バルクフロー圧縮機は、およそ45,000（すなわち30×1,500psi）単位の力（すなわち行なわれた仕事または消費されたエネルギー）を必要とすると思われる。上述の冷凍システム900においては、低DPの循環圧縮機941および低DPの循環圧縮機944は（各々が、毎分およそ113.56リットル（30ガロン）の流量率そしておよそ68.9kPa（10psi）の差圧で動作すると仮定して）、各々、およそ300（すなわち30×10）単位の力を必要とすると思われる。リーク圧縮機925は（それが、およそ5.68リットル（1.5ガロン）の流量率およびおよそ10,342kPa（1,500psi）の差圧で動作すると仮定して）、およそ2,250（すなわち1.5×1,500）単位の力を必要とすると思われる。したがって、冷凍システム931内の圧縮機925、941、944は、およそ2,850単位の力を必要とすると思われる。したがって、圧縮機925、941、944は、バルクフロー圧縮機ベースのシステムに比べて、少なくとも10分の1（また、さらには最高15分の1）にエネルギー消費量を削減すると思われる。

【0092】

一部の実施形態において、冷凍システム931（リーク圧縮機925および低DPの循環圧縮機941、944のうちの1つ以上を有する）は、図18および19において上述されたスーパーマーケットのアーキテクチャにおいて使用され得る。

【0093】

図26および27は、従来のジュールトムソン膨張弁954も使用する回転圧力交換器ベースの超臨界二酸化炭素冷凍システムを使用するスーパーマーケットシステムアーキテクチャ950、952の2つの例を示している。概して、アーキテクチャは、膨張弁954の使用を除いて、図18および19中のものと類似している。さらに、アーキテクチャ950、952は、超臨界冷媒（例えば二酸化炭素）での使用のための熱交換器324としてガス冷却器を使用することに関連付けて論述されているものの、これらのアーキテクチャ950、952を、亜臨界冷媒（例えば二酸化炭素）での使用のための熱交換器324としての凝縮器と共に使用することも可能である。第1のアーキテクチャ950（図26）、（低压出口305を介した）回転圧力交換器304からの2相低压流出流（例えば、370psiなどの第1の中間圧にある二酸化炭素気体／液体混合物）は、気相と液相（両方共、例えば370psiでフラッシュタンクから退出する）を分離するフラッシュタンク306を通して進む。二酸化炭素液相は、低温（例えばおよそ摂氏−20℃）および中温（例えばおよそ−4℃）の熱負荷／蒸発器308、310（例えばそれぞれスーパーマーケットの冷凍庫セクションおよび冷蔵庫セクション）まで輸送され、ここで二酸化炭素液相は熱を取り込み過熱状態になる。これは2相気相／液相というよりはむしろ純粋に液相であることから、より大きな熱吸収（すなわち冷却）能力を有する。二酸化炭素液相は、例えば370psiで中温蒸発器310に入り、一方、炭素液相は、流量制御弁312を通して流れた後、例えば180psiで低温蒸発器308に入る。流量制御弁312は（例えば、コントローラからの制御信号に応じて）、蒸発器308に対する液体二酸化炭素の流量を調節することができる。冷凍庫セクション308からの過熱された二酸化炭素の蒸気（180psiの低压にある）は、次に低温圧縮機316（ここでそれは例えば370psiで退出する）へと進んだ後、冷蔵庫セクション310からの過熱された二酸化炭素の蒸気（例えば370psiにある）と、そして同じ圧力にあるフラッシュタンク306内の気体／液体混合物から分離された分離済みの過熱された気相の二酸化炭素と、再び一体化する。制御弁318（例えばフラッシュガス制御弁）が（例えばコントローラからの制御信号に回答して）、フラッシュタンク306から流れる過熱された気体の二酸化炭素の流量を調節し得る。この再度一体化された過熱された気体の二酸化炭素は、次に、低压入口ポート320で回転圧力交換器304に入り、第2の中間圧（例えば500psi）まで圧縮される。過熱された気体の二酸化炭素は、（高压出口322を介して）回転圧力交換器304から退出し、中温圧縮機330まで進み、ここで過熱された気体の二

10

20

30

40

50

酸化炭素は、システム要件に応じてシステム内の最高圧力（例えば 1,300 psi）まで圧縮され、超臨界二酸化炭素へと変換される。超臨界二酸化炭素はその後、最高圧で熱交換器 324（例えばガス冷却器）まで進み、ここで環境へ熱を放出し、冷却する。一部の実施形態において、熱交換器 324 は、亜臨界二酸化炭素で使用される気体凝縮器である。ガス冷却器 324 から、超臨界二酸化炭素（例えば 1,300 psi にある）は、高圧ジュールトムソン弁 954 を通って流れ、ここで超臨界二酸化炭素は、二酸化炭素気体／液体混合物（例えば第 2 の中間圧、例えば 500 psi にある）へと変換される。二酸化炭素気体／液体混合物は、回転圧力交換器 304 の高圧入口 326 内に流入する。

【0094】

図 27 中のアーキテクチャ 952 は、図 26 中のアーキテクチャ 950 からわずかに変動する。詳細には、図 27 中で描かれているように、二酸化炭素気体／液体混合物（第 2 の中間圧、例えば 500 psi にある）は、純粋な二酸化炭素気体または蒸気および液体への分離のためにフラッシュタンク 306 内に流入する。フラッシュタンク 306 からの二酸化炭素気体は、回転圧力交換器 304 の高圧入口 326 内に流入するが、一方フラッシュタンクからの二酸化炭素液体は、低温および中温蒸発器 308、310 内へ低圧内に流入する。圧力変換器 304 の低圧入口 305 から退出する 2 相気体液体 CO₂ 混合物は、中温蒸発器 310 と同じ圧力で退出し、中温蒸発器 310 および低温圧縮機 316 から退出する流体流（fluid stream）と組み合わせられた後に、圧力変換器 304 の低圧入口 320 に入る。同様に、流量制御弁 314 は、中温蒸発器 310 の上流側に配置されている。

【0095】

本発明は、さまざまな修正および変形形態を受ける可能性があるものの、図面では一例として具体的実施形態が示されており、本明細書中で説明されている。しかしながら、本発明は開示されている特定の形態に限定するべく意図されていないということを理解すべきである。むしろ、本発明は、以下の添付クレームによって定義されている本発明の精神および範囲に入る全ての修正、等価物および変形形態を網羅すべきものである。

なお、本発明の実施態様として、以下に示すものがある。

〔態様 1〕

冷凍システムにおいて、

中を通して高圧で冷媒を循環させるための高圧分岐と；

前記高圧分岐に沿って配置されたガス冷却器または凝縮器であって、前記高圧分岐が前記ガス冷却器または前記凝縮器を介して高圧の前記冷媒から周囲環境に熱を放出するように構成されており、高圧の前記冷媒が超臨界状態または亜臨界状態にある、ガス冷却器または凝縮器と；

中を通して低圧で前記冷媒を循環させるための第 2 の低圧分岐と；

前記低圧分岐に沿って配置された蒸発器であって、前記低圧分岐が、蒸発器を介して前記周囲環境から低圧の前記冷媒内に熱を吸収するように構成されており、低圧の前記冷媒が液体状態、蒸気状態にあるかまたは液体と蒸気の 2 相混合物である、蒸発器と；

前記冷媒の圧力を低圧から高圧へと上昇させるように構成された圧縮機またはポンプと；

前記低圧分岐および前記高圧分岐に流体結合された回転圧力交換器であって、前記高圧分岐から高圧の前記冷媒を受け入れ、前記低圧分岐から低圧の前記冷媒を受け入れ、かつ高圧の前記冷媒と低圧の前記冷媒の間で圧力を交換するように構成されており、前記回転圧力交換器からの第 1 の退出流が、超臨界状態または亜臨界状態にある高圧の前記冷媒を含み、前記回転圧力交換器からの第 2 の退出流が、前記液体状態にあるかまたは前記液体と蒸気の 2 相混合物である低圧の前記冷媒を含んでいる、回転圧力交換器と；

を含む冷凍システム。

〔態様 2〕

前記冷媒が二酸化炭素を含む、態様 1 に記載の冷凍システム。

〔態様 3〕

前記回転圧力交換器が、前記蒸気状態にあるかまたは前記液体と蒸気の 2 相混合物である

低圧の前記受け入れた冷媒を、超臨界状態または亜臨界状態にある高圧の冷媒へと圧縮することを可能にし、かつ前記超臨界状態または前記亜臨界状態にある高圧の前記受け入れた冷媒を、前記液体と蒸気の２相混合物または前記液体状態にある低圧の冷媒へと膨張させることを可能にするように構成されている、態様１または２に記載の冷凍システム。

〔態様４〕

前記蒸発器が前記回転圧力交換器から下流側に配置されており、前記蒸発器が、前記液体と蒸気の２相混合物である低圧の前記冷媒を受け入れ、前記液体と蒸気の２相混合物を飽和蒸気または過熱蒸気に変換することを可能にするように構成されている。態様３に記載の冷凍システム。

〔態様５〕

前記低圧および高圧分岐に流体結合された前記圧縮機を含む、態様１ないし４のいずれか一態様に記載の冷凍システム。

〔態様６〕

前記蒸発器が、前記蒸気状態にある低圧の前記冷媒の第１の部分を前記回転圧力交換器に提供し、前記蒸気状態にある低圧の前記冷媒の第２の部分を前記圧縮機に提供するように構成されており、前記蒸気状態にある低圧の前記冷媒の前記第１および第２の部分が、過熱蒸気を含む、態様５に記載の冷凍システム。

〔態様７〕

前記回転圧力交換器が、前記超臨界状態にある高圧の前記冷媒を、等エントロピ膨張または準等エントロピ膨張を介して、液体と蒸気の２相混合物である低圧の前記冷媒へと膨張させるように構成されている、態様１ないし６のいずれか一態様に記載の冷凍システム。

〔態様８〕

前記回転圧力交換器が、前記冷凍システムの冷却能力を増大させ前記圧縮機の仕事要件を削減するために、ジュールトムソン膨張弁の代りに使用される、態様１ないし７のいずれか一態様に記載の冷凍システム。

〔態様９〕

冷凍システムにおいて、

中を通して高圧で冷媒を循環させるための高圧分岐と；

前記高圧分岐に沿って配置されたガス冷却器または凝縮器であって、前記高圧分岐が前記ガス冷却器または前記凝縮器を介して高圧の前記冷媒から周囲環境に熱を放出するように構成されており、高圧の前記冷媒が超臨界状態または亜臨界状態にある、ガス冷却器または凝縮器と；

中を通して低圧で冷媒を循環させるための低圧分岐と；

前記低圧分岐に沿って配置された第１の蒸発器であって、前記第１の蒸発器が第１の温度で動作するように構成されており、前記低圧分岐が、蒸発器を介して前記周囲環境から低圧の前記冷媒内に熱を吸収するように構成されており、低圧の前記冷媒が液体状態、蒸気状態にあるかまたは液体と蒸気の２相混合物である、蒸発器と；

第１の中間圧で中を通して前記冷媒を循環させるための第１の中間圧分岐と；

前記第１の中間圧分岐に沿って配置された第２の蒸発器であって、第１の温度よりも高い第２の温度で動作するように構成されている第２の蒸発器と；

第２の中間圧で中を通して前記冷媒を循環させるための第２の中間圧分岐であって、前記第１の中間圧分岐内の前記冷媒の第１の中間圧が、前記低圧分岐および前記第２の中間圧分岐内の前記冷媒のそれぞれの圧力の間にあり、前記第１の中間圧分岐内の前記冷媒の前記第１の中間圧が、前記第２の蒸発器における飽和圧力に等しく、前記第２の中間圧分岐内の冷媒の前記第２の中間圧が、前記高圧分岐および前記第１の中間圧分岐内の前記冷媒のそれぞれの圧力の間にあり、第２の中間圧分岐と；

前記第２の中間圧で動作し、前記液体と蒸気の２相混合物である前記冷媒を純粋な液体および純粋な蒸気へと分離するように構成されたフラッシュタンクと；

前記第２の中間圧分岐および前記高圧分岐に流体結合された回転圧力交換器であって、前記高圧分岐から高圧の前記冷媒を受け入れ、前記第２の中間圧分岐から、前記蒸気状態、

10

20

30

40

50

前記液体状態にあるかまたは前記液体と蒸気の 2 相混合物である前記第 2 の中間圧の前記冷媒を受け入れ、かつ前記高圧の冷媒と前記第 2 の中間圧の冷媒の間に圧力を交換するように構成されており、前記回転圧力交換器からの第 1 の退出流が、前記超臨界状態または前記亜臨界状態にある前記高圧の冷媒を含み、前記回転圧力交換器からの第 2 の退出流が、前記液体状態にあるかまたは前記液体と蒸気の 2 相混合物である前記第 2 の中間圧の前記冷媒を含んでいる、回転圧力交換器と；
を含む冷凍システム。

〔態様 10〕

前記フラッシュタンクおよび第 1 の蒸発器の下流側に位置設定された第 1 の圧縮機を含み、前記第 1 の圧縮機が第 1 の温度で動作し、前記第 1 の圧縮機が、前記第 1 の蒸発器からの前記蒸気状態にあるかまたは前記液体と蒸気の 2 相混合物である前記冷媒を受け入れ、かつ前記第 1 の中間圧まで前記冷媒を加圧するように構成されている、態様 9 に記載の冷凍システム。

〔態様 11〕

前記第 1 の圧縮機および第 2 の蒸発器の下流側に位置設定された第 2 の圧縮機を含み、前記第 2 の圧縮機が第 2 の温度で動作し、前記第 2 の圧縮機が、前記第 1 の圧縮機および前記第 2 の蒸発器の両方からの前記蒸気状態にあるかまたは前記液体と蒸気の 2 相混合物である冷媒を受け入れ、かつ前記高圧まで前記冷媒を加圧するように構成されている、態様 10 に記載の冷凍システム。

〔態様 12〕

分離済み液体冷媒が前記低圧に達した後、前記第 1 の蒸発器まで流れるように、前記フラッシュタンクからの分離済み液体冷媒の流量を調節するように構成されている第 1 の弁を含む、態様 9 ないし 11 のいずれか一態様に記載の冷凍システム。

〔態様 13〕

前記分離済み液体冷媒が前記第 1 の中間圧に達した後、前記フラッシュタンクから前記第 2 の蒸発器までの前記分離済み液体冷媒の流量を調節するように構成されている第 2 の弁を含む、態様 12 に記載の冷凍システム。

〔態様 14〕

前記回転圧力交換器の入口への前記第 2 の中間圧での前記フラッシュタンクからの分離済み蒸気冷媒の流量を調節するように構成された第 3 の弁を含む、態様 13 に記載の冷凍システム。

〔態様 15〕

前記冷媒が二酸化炭素を含む、態様 9 ないし 14 のいずれか一態様に記載の冷凍システム。

〔態様 16〕

冷凍システムにおいて、

中を通して高圧で冷媒を循環させるための高圧分岐と；

前記高圧分岐に沿って配置されたガス冷却器または凝縮器であって、前記高圧分岐が前記ガス冷却器または前記凝縮器を介して高圧の前記冷媒から周囲環境に熱を放出するように構成されており、高圧の前記冷媒が超臨界状態または亜臨界状態にある、ガス冷却器または凝縮器と；

中を通して低圧で冷媒を循環させるための低圧分岐と；

前記低圧分岐に沿って配置された第 1 の蒸発器であって、第 1 の温度で動作するように構成されており、前記低圧分岐が、蒸発器を介して前記周囲環境から低圧の前記冷媒内に熱を吸収するように構成されており、低圧の前記冷媒が液体状態、蒸気状態にあるかまたは液体と蒸気の 2 相混合物である、第 1 の蒸発器と；

中を通して中間圧で前記冷媒を循環させるための中間圧分岐と；

前記中間圧分岐に沿って配置された第 2 の蒸発器であって、前記第 1 の温度よりも高い第 2 の温度で動作するように構成されており、前記中間圧分岐内の前記冷媒の中間圧が、前記高圧分岐と前記低圧分岐内の前記冷媒のそれぞれの圧力の間にあり、前記中間圧分岐内の前記冷媒の前記中間圧が第 2 の蒸発器における飽和圧力に等しい、第 2 の蒸発器と；

10

20

30

40

50

前記中間圧で動作しかつ前記液体と蒸気の２相混合物である前記冷媒を純粋な液体および純粋な蒸気へと分離するように構成されたフラッシュタンクと；

前記中間圧分岐および前記高圧分岐に流体結合された回転圧力交換器であって、前記高圧分岐から高圧の前記冷媒を受け入れ、前記中間圧分岐から、前記蒸気状態、前記液体状態にあるかまたは前記液体と蒸気の２相混合物である前記中間圧の前記冷媒を受け入れ、かつ高圧の前記冷媒と前記中間圧の前記冷媒の間で圧力を交換するように構成されており、前記回転圧力交換器からの第１の退出流が、超臨界状態または亜臨界状態にある高圧の前記冷媒を含み、前記回転圧力交換器からの第２の退出流が、前記液体状態にあるかまたは前記液体と蒸気の２相混合物である中間圧の前記冷媒を含んでいる、回転圧力交換器と；を含む冷凍システム。

10

〔態様１７〕

前記回転圧力交換器を退出する前記超臨界状態または亜臨界状態にある前記冷媒を受け入れ、前記冷媒を前記高圧まで加圧するように構成されている低差圧の圧縮機を含む、態様１６に記載の冷凍システム。

〔態様１８〕

前記フラッシュタンクと前記第１の蒸発器の下流側に位置設定された圧縮機を含み、前記第１の圧縮機が前記第１の温度で動作し、前記圧縮機が、前記第１の蒸発器からの前記蒸気状態にあるかまたは前記液体と蒸気の２相混合物である前記冷媒を受け入れ、前記回転圧力交換器のために前記冷媒を前記中間圧まで加圧するように構成されている、態様１７に記載の冷凍システム。

20

〔態様１９〕

前記回転圧力交換器の入口までの前記中間圧にある前記フラッシュタンクからの分離済み蒸気冷媒の流量を調節するように構成されている弁を含む、態様１８に記載の冷凍システム。

〔態様２０〕

前記冷媒が二酸化炭素を含む、態様１６ないし１９のいずれか一態様に記載の冷凍システム。

【図面】

【図１】

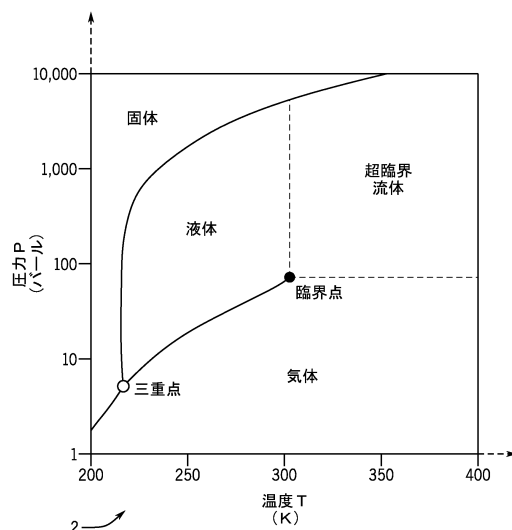


FIG. 1

【図２】

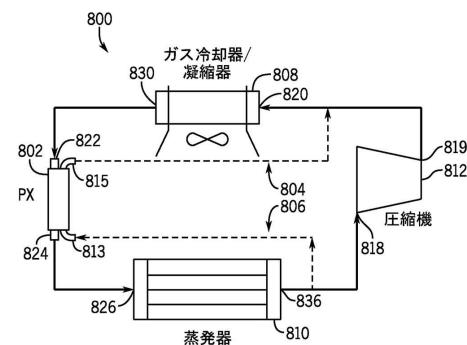


FIG. 2

30

40

50

【図 3】

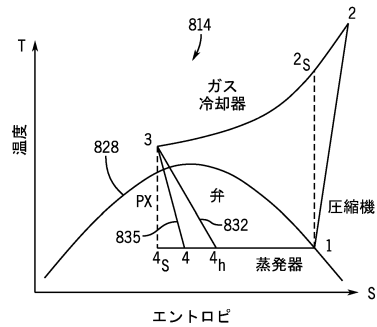


FIG. 3

【図 4】

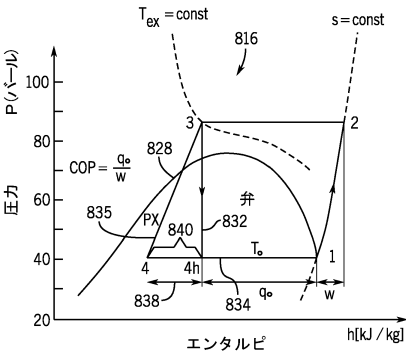


FIG. 4

【図 5】

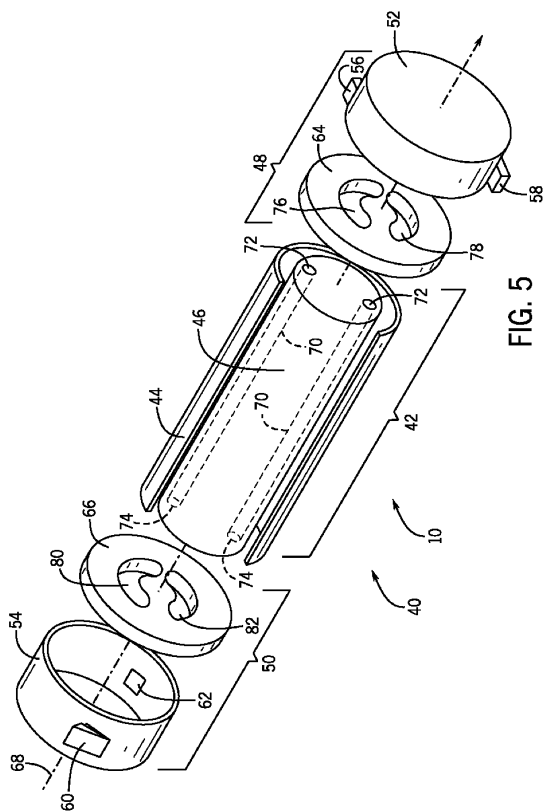


FIG. 5

【図 6】

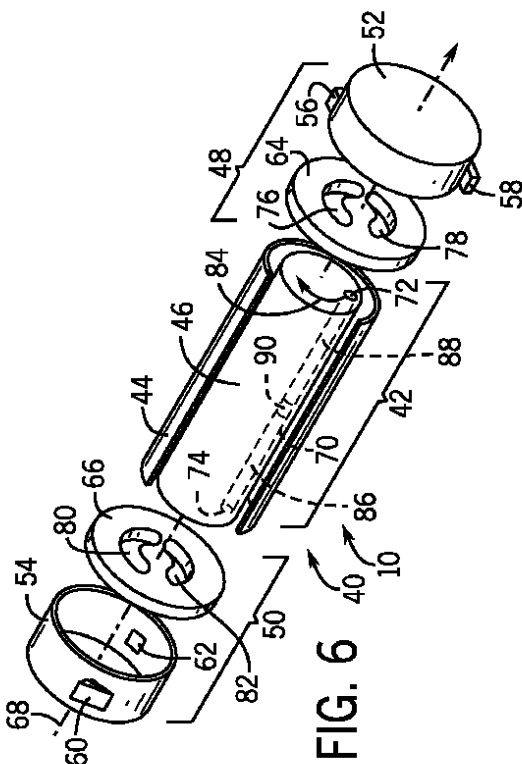
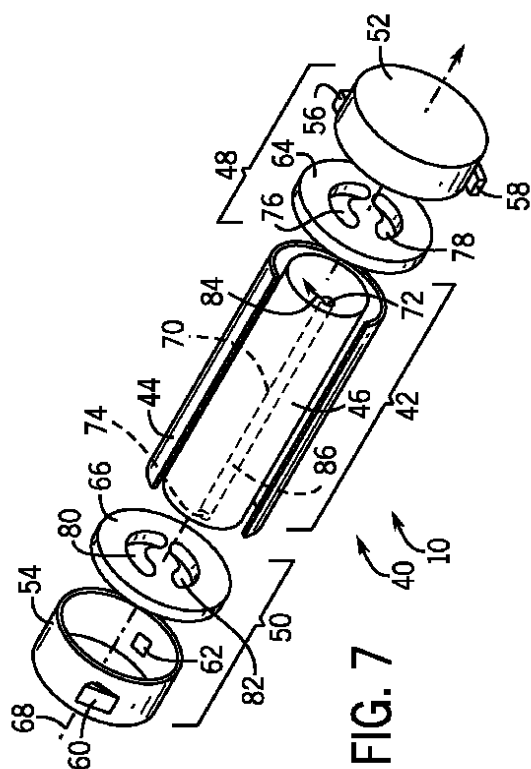
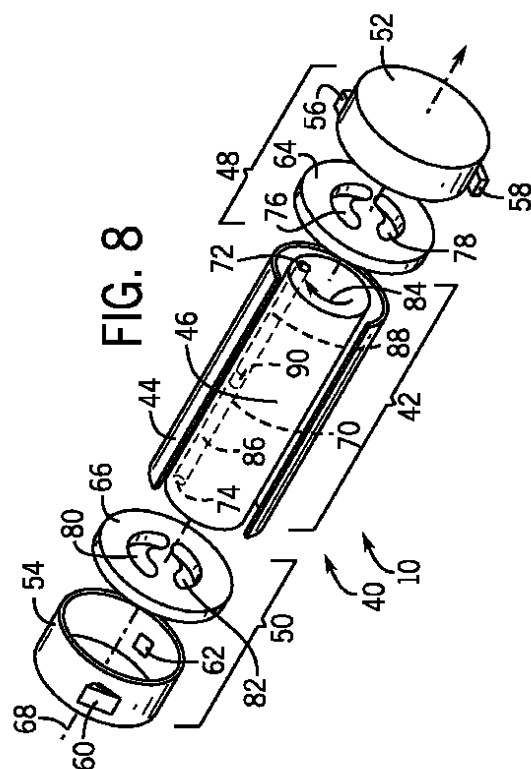


FIG. 6

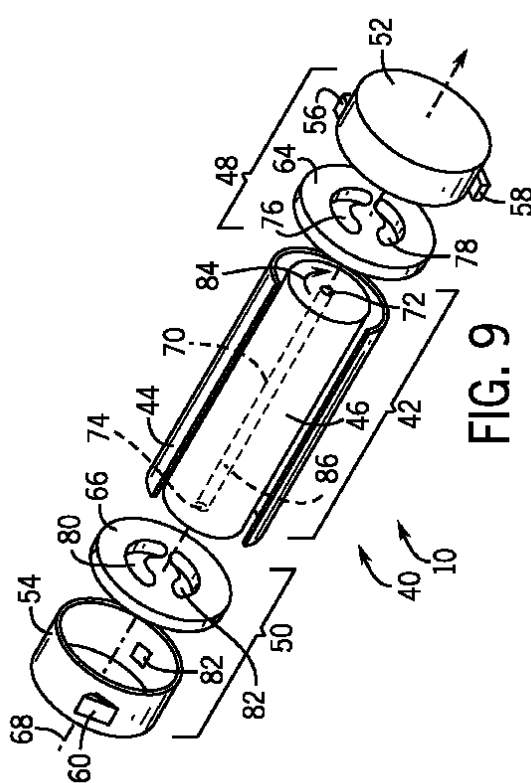
【圖 7】



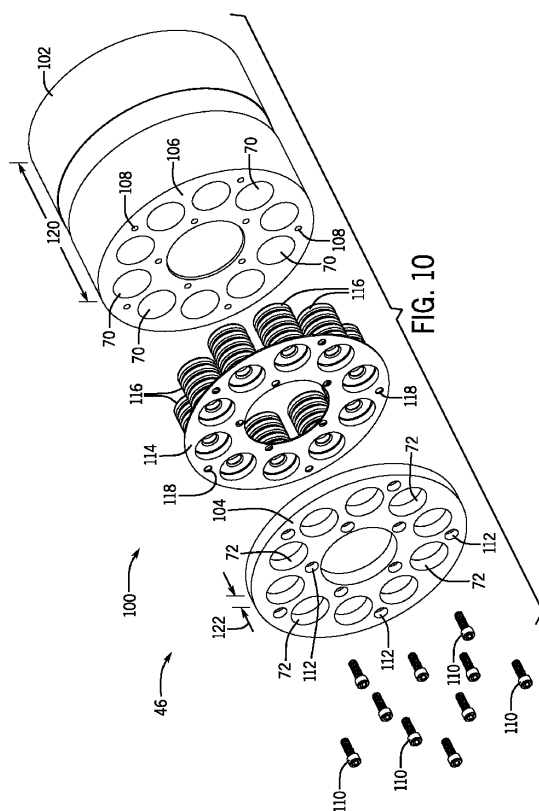
【圖 8】



【図 9】



【図 10】



【図 1 1】

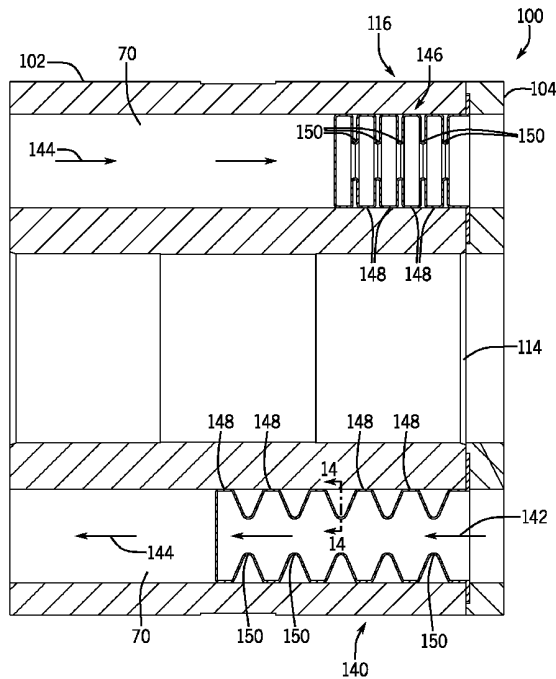


FIG. 11

【図 1 2】

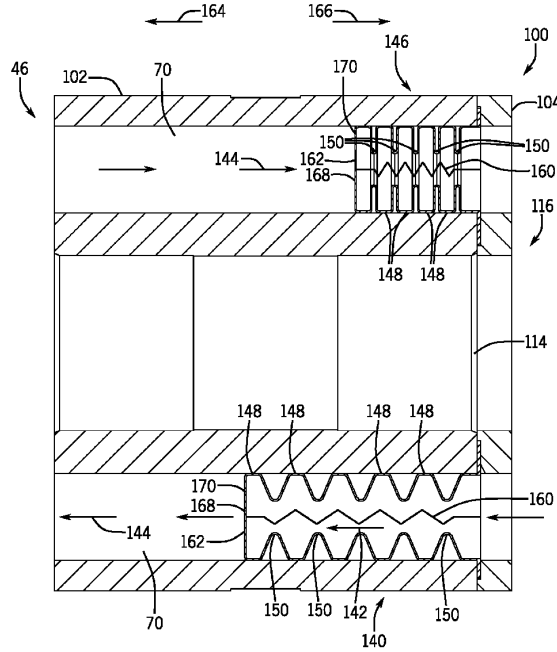


FIG. 12

【図 1 3】

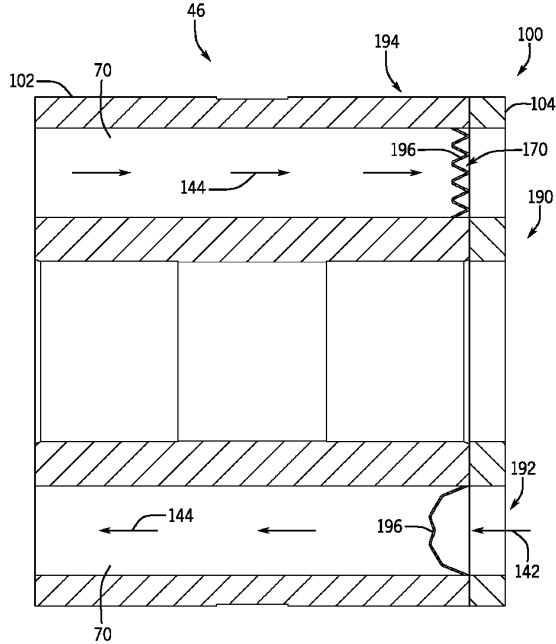


FIG. 13

【図 1 4】

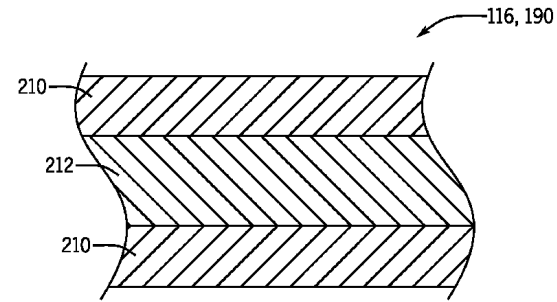


FIG. 14

10

20

30

40

50

【図 15】

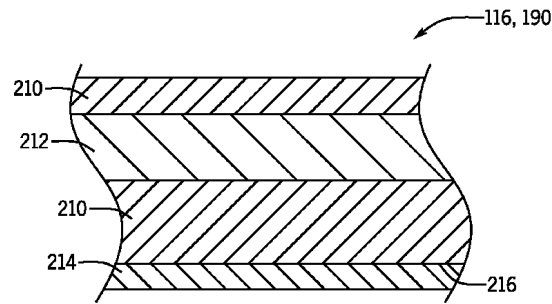


FIG. 15

【図 16】

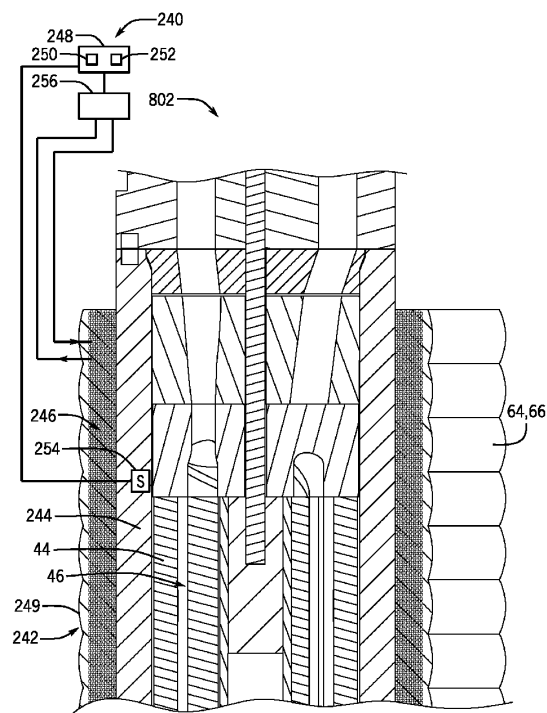


FIG. 16

【図 17】

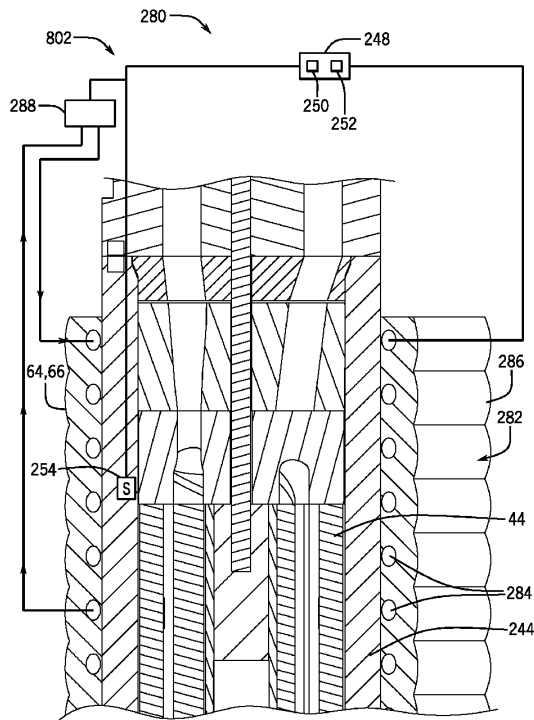


FIG. 17

【図 18】

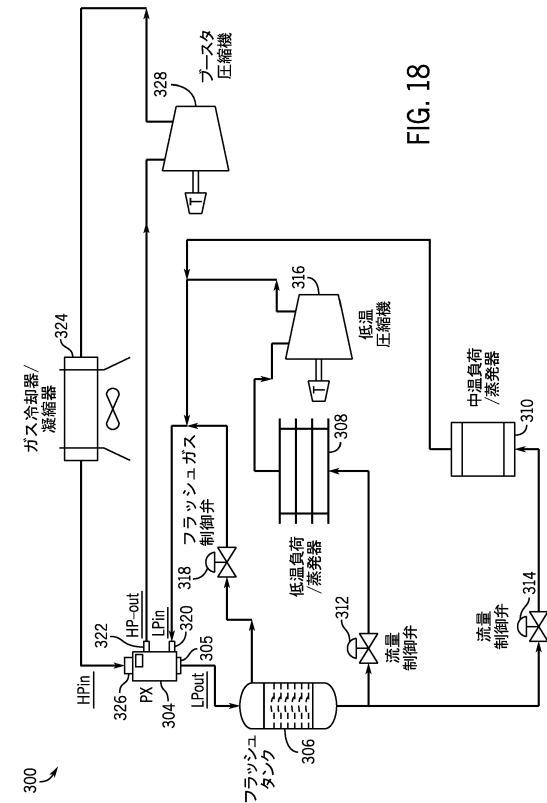


FIG. 18

10

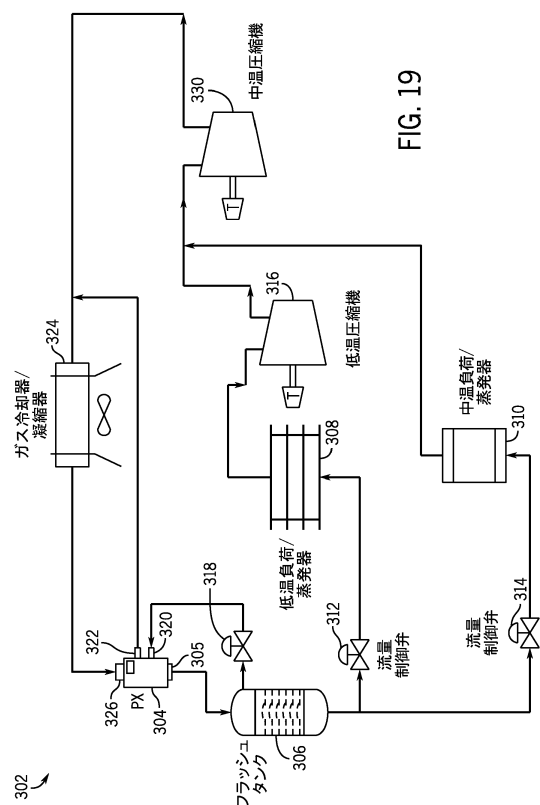
20

30

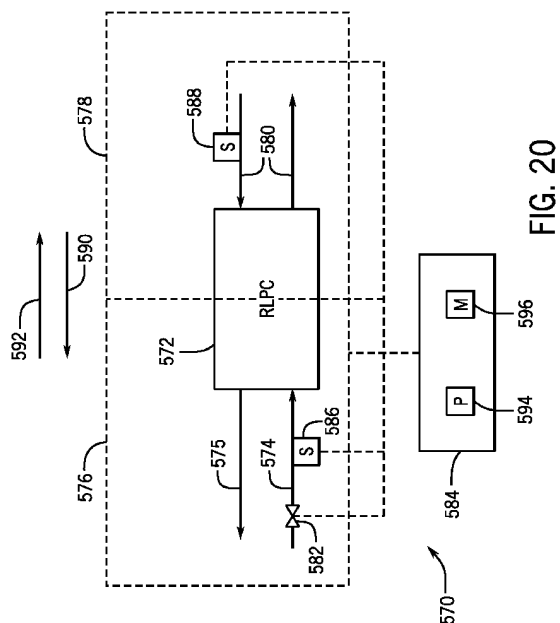
40

50

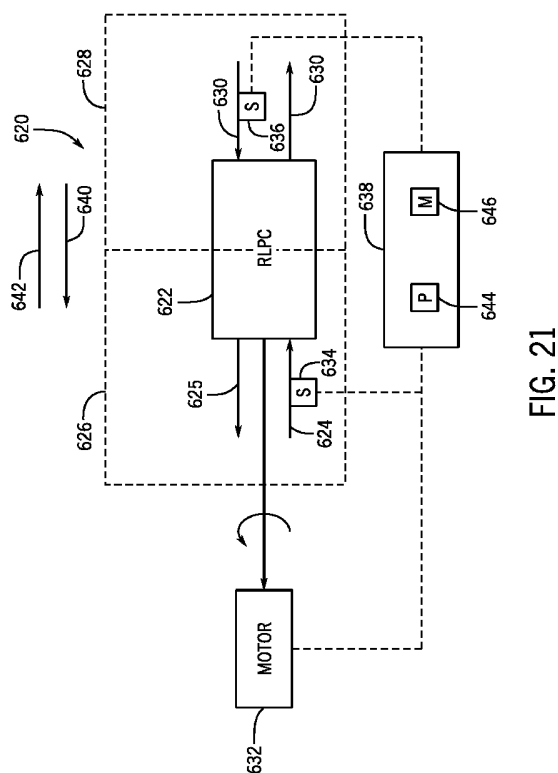
【図 19】



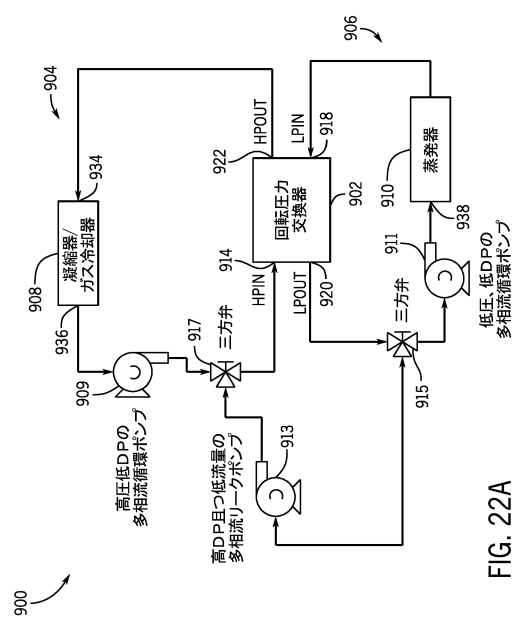
【図 20】



【図 2 1】



【図 2 2 A】



【図 2 2 B】

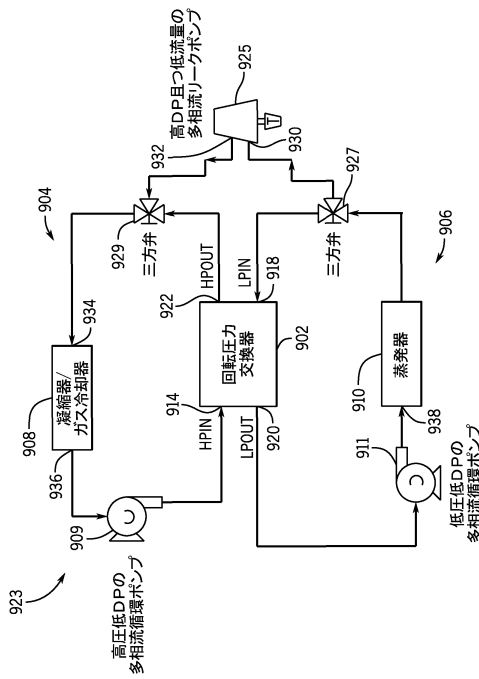


FIG. 22B

【図 2 3】

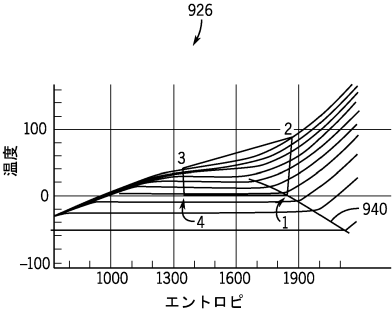


FIG. 23

10

20

【図 2 4】

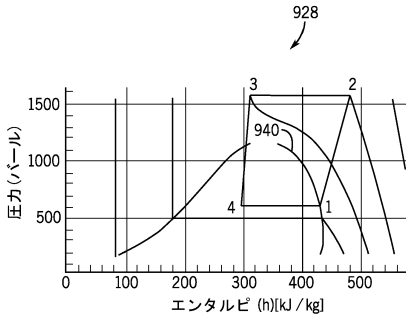


FIG. 24

【図 2 5】

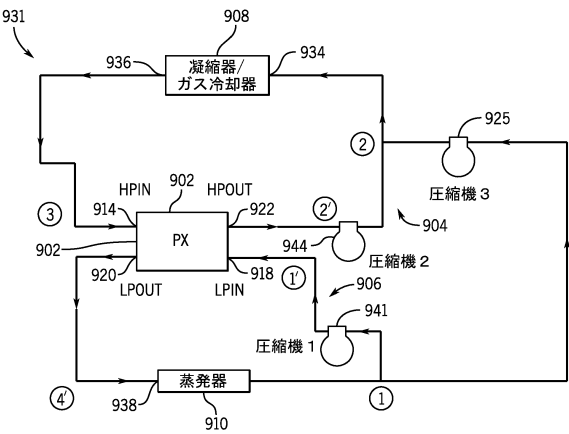


FIG. 25

30

40

50

【図 2 6】

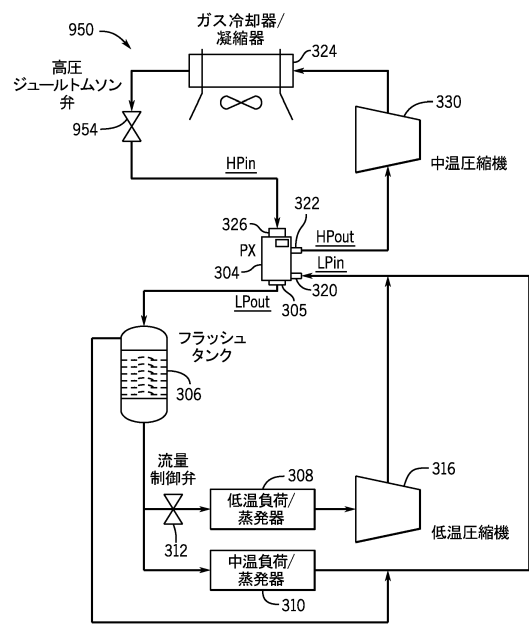


FIG. 26

【図 2 7】

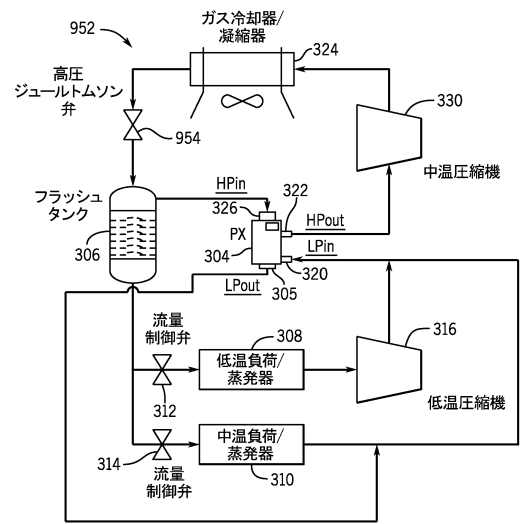


FIG. 27

フロントページの続き

弁理士 森本 有一
(74)代理人 100126848
弁理士 本田 昭雄
(72)発明者 アザム ミヒール タッテ
アメリカ合衆国，カリフォルニア 9 4 5 7 7，サン レアンドロ，ドゥリトル ドライブ 1 7 1
7，エナジー リカバリー，インコーポレイティド
審査官 笹木 俊男
(56)参考文献 特表 2 0 0 6－5 2 7 8 3 6 (J P, A)
米国特許出願公開第 2 0 1 9／0 3 9 0 5 7 6 (U S, A 1)
特表 2 0 1 7－5 0 3 9 5 6 (J P, A)
(58)調査した分野 (Int.Cl., D B名)
F 2 5 B 1／0 0
F 2 5 B 4 1／3 0
F 0 4 F 1 3／0 0