

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公表特許公報(A)

(11) 特許出願公表番号

特表2017-525923

(P2017-525923A)

(43) 公表日 平成29年9月7日(2017.9.7)

(51) Int.Cl. F I テーマコード (参考)
F 2 5 B 9/14 (2006.01) F 2 5 B 9/14 5 2 0 A

審査請求 有 予備審査請求 未請求 (全 17 頁)

<p>(21) 出願番号 特願2017-507409 (P2017-507409) (86) (22) 出願日 平成27年6月11日 (2015.6.11) (85) 翻訳文提出日 平成29年2月9日 (2017.2.9) (86) 国際出願番号 PCT/US2015/035362 (87) 国際公開番号 W02016/025065 (87) 国際公開日 平成28年2月18日 (2016.2.18) (31) 優先権主張番号 14/456, 821 (32) 優先日 平成26年8月11日 (2014.8.11) (33) 優先権主張国 米国 (US)</p>	<p>(71) 出願人 503455363 レイセオン カンパニー アメリカ合衆国 マサチューセッツ州 O 2 4 5 1 - 1 4 4 9 ウォルサム ウィン ター ストリート 8 7 0 (74) 代理人 100107766 弁理士 伊東 忠重 (74) 代理人 100070150 弁理士 伊東 忠彦 (74) 代理人 100091214 弁理士 大貫 進介 (72) 発明者 ブロックマン, ダウソン, アール. アメリカ合衆国 カリフォルニア州 9 0 2 5 0 - 6 4 4 8 ホーソン ウェスト ・ 1 3 9 番 ストリート 5 4 2 6 最終頁に続く</p>
--	--

(54) 【発明の名称】 負荷シフト能力を有する多段クライオクーラーの温度制御

(57) 【要約】

システムは、複数の段を持つ多段クライオクーラーと、多段クライオクーラーの複数の段の温度を調節するように構成された温度制御システムとを含む。温度制御システムは、(i) 多段クライオクーラーの複数の段に関する温度設定点と、(i i) 多段クライオクーラーの複数の段で測定された温度に対応する温度情報と、を受け取るように構成された入力インターフェースを含む。温度制御システムはまた、温度誤差を決定し且つ圧縮機ストローク誤差及び圧力 - 体積位相誤差のうち少なくとも一方を計算するように構成されたプロセッシング回路を含む。温度制御システムは更に、多段クライオクーラーの圧縮機設定及び圧力 - 体積位相のうち少なくとも一方を調節するように構成された少なくとも1つのコントローラを含む。

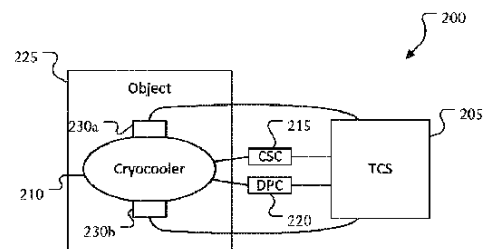


FIG. 2

【特許請求の範囲】

【請求項 1】

多段クライオクーラーの複数の段の温度を調節するように構成された温度制御システムを有し、前記温度制御システムは、

(i) 前記多段クライオクーラーの前記複数の段に関する温度設定点と、(i i) 前記多段クライオクーラーの前記複数の段で測定された温度に対応する温度情報と、を受け取るように構成された入力インタフェースと、

温度誤差を決定し、且つ圧縮機ストローク誤差及び圧力 - 体積位相誤差のうちの少なくとも一方を計算するように構成されたプロセッシング回路と、

前記多段クライオクーラーの圧縮機設定及び圧力 - 体積位相のうちの少なくとも一方を調節するように構成された少なくとも 1 つのコントローラと

を有する、
装置。

10

【請求項 2】

前記複数の段の前記温度を測定して前記温度情報を提供するように構成された複数のセンサ、

を更に有する請求項 1 に記載の装置。

【請求項 3】

前記温度情報は、温度差、前記温度差を表す値、実際の温度、前記実際の温度を表す値、前記温度が好適温度よりも高いか低いかを指し示すインジケーション、及び前記温度が好適温度範囲よりも高いか低いかを指し示すインジケーション、のうちの少なくとも 1 つを有する、請求項 1 に記載の装置。

20

【請求項 4】

前記プロセッシング回路は、決定した前記温度誤差をデカップラ / 感度行列に適用することによって、前記圧縮機ストローク誤差及び前記圧力 - 体積位相誤差を計算するように構成されている、請求項 1 に記載の装置。

【請求項 5】

前記プロセッシング回路は、前記デカップラ / 感度行列を、前記多段クライオクーラーからの測定された線形化された応答データの逆をとったものとして生成するように構成されている、請求項 4 に記載の装置。

30

【請求項 6】

前記多段クライオクーラーにて測定された圧縮機設定と前記圧縮機ストローク誤差とを受け取るように構成された圧縮機ストローク設定点コントローラであり、前記多段クライオクーラーの前記圧縮機設定を前記少なくとも 1 つのコントローラに調節させるように構成された圧縮機ストローク設定点コントローラ、

を更に有する請求項 1 に記載の装置。

【請求項 7】

前記多段クライオクーラーにて測定された圧力 - 体積位相と前記圧力 - 体積位相誤差とを受け取るように構成された圧力 - 体積位相設定点コントローラであり、前記多段クライオクーラーの前記圧力 - 体積位相における圧力波形と体積波形との間の位相関係を前記少なくとも 1 つのコントローラに調節させるように構成された圧力 - 体積位相設定点コントローラ、

を更に有する請求項 1 に記載の装置。

40

【請求項 8】

複数の段を有する多段クライオクーラーと、

前記多段クライオクーラーの前記複数の段の温度を調節するように構成された温度制御システムと

を有し、

前記温度制御システムは、

(i) 前記多段クライオクーラーの前記複数の段に関する温度設定点と、(i i) 前

50

記多段クライオクーラーの前記複数の段で測定された温度に対応する温度情報と、を受け取るように構成された入力インタフェースと、

温度誤差を決定し、且つ圧縮機ストローク誤差及び圧力 - 体積位相誤差のうちの少なくとも一方を計算するように構成されたプロセッシング回路と、

前記多段クライオクーラーの圧縮機設定及び圧力 - 体積位相のうちの少なくとも一方を調節するように構成された少なくとも1つのコントローラと

を有する、
システム。

【請求項 9】

前記複数の段の前記温度を測定して前記温度情報を提供するように構成された複数のセンサ、

を更に有する請求項 8 に記載のシステム。

【請求項 10】

前記温度情報は、温度差、前記温度差を表す値、実際の温度、前記実際の温度を表す値、前記温度が好適温度よりも高いか低いかを指し示すインジケーション、及び前記温度が好適温度範囲よりも高いか低いかを指し示すインジケーション、のうちの少なくとも1つを有する、請求項 8 に記載のシステム。

【請求項 11】

前記プロセッシング回路は、決定した前記温度誤差をデカップラ / 感度行列に適用することによって、前記圧縮機ストローク誤差及び前記圧力 - 体積位相誤差を計算するように構成されている、請求項 8 に記載のシステム。

【請求項 12】

前記プロセッシング回路は、前記デカップラ / 感度行列を、前記多段クライオクーラーからの測定された線形化された応答データの逆をとったものとして生成するように構成されている、請求項 11 に記載のシステム。

【請求項 13】

前記多段クライオクーラーにて測定された圧縮機設定と前記圧縮機ストローク誤差とを受け取るように構成された圧縮機ストローク設定点コントローラであり、前記多段クライオクーラーの前記圧縮機設定を前記少なくとも1つのコントローラに調節させるように構成された圧縮機ストローク設定点コントローラ、

を更に有する請求項 8 に記載のシステム。

【請求項 14】

前記多段クライオクーラーにて測定された圧力 - 体積位相と前記圧力 - 体積位相誤差とを受け取るように構成された圧力 - 体積位相設定点コントローラであり、前記多段クライオクーラーの前記圧力 - 体積位相における圧力波形と体積波形との間の位相関係を前記少なくとも1つのコントローラに調節させるように構成された圧力 - 体積位相設定点コントローラ、

を更に有する請求項 8 に記載のシステム。

【請求項 15】

複数の段を有する多段クライオクーラーを用いて物体を冷却し、且つ

前記多段クライオクーラーの各段の温度を、

(i) 前記多段クライオクーラーの前記複数の段に関する温度設定点と、(i i) 前記多段クライオクーラーの前記複数の段で測定された温度に対応する温度情報とを受信し、

前記温度設定点と前記温度情報とを用いて温度誤差を決定し、

前記温度誤差を用いて、圧縮機ストローク誤差及び圧力 - 体積位相誤差のうちの少なくとも一方を計算し、且つ

前記圧縮機ストローク誤差及び前記圧力 - 体積位相誤差のうちの少なくとも一方を用いて、前記多段クライオクーラーの圧縮機設定及び圧力 - 体積位相のうちの少なくとも一方を調節する、

10

20

30

40

50

ことによって調節する、
 ことを有する方法。

【請求項 16】

複数のセンサを用いて、前記多段クライオクーラーの前記複数の段の前記温度を測定する、

ことを更に有する請求項 15 に記載の方法。

【請求項 17】

前記温度情報は、温度差、前記温度差を表す値、実際の温度、前記実際の温度を表す値、前記温度が好適温度よりも高いか低いかを指し示すインジケーション、及び前記温度が好適温度範囲よりも高いか低いかを指し示すインジケーション、のうちの少なくとも一つを有する、請求項 15 に記載の方法。

10

【請求項 18】

前記圧縮機ストローク誤差及び前記圧力 - 体積位相誤差のうちの少なくとも一方を計算することは、前記温度誤差をデカップラ / 感度行列に適用することを有する、請求項 15 に記載の方法。

【請求項 19】

前記デカップラ / 感度行列を、前記多段クライオクーラーからの測定された線形化された応答データの逆をとったものとして生成する、

ことを更に有する請求項 18 に記載の方法。

【請求項 20】

前記多段クライオクーラーにて測定された圧縮機設定と前記圧縮機ストローク誤差とを受信し、

前記多段クライオクーラーの前記圧縮機設定を調節し、

前記多段クライオクーラーにて測定された圧力 - 体積位相と前記圧力 - 体積位相誤差とを受信し、且つ

前記多段クライオクーラーの前記圧力 - 体積位相における圧力波形と体積波形との間の位相関係を調節する、

ことを更に有する請求項 15 に記載の方法。

20

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

30

【0001】

本開示は、概してクライオクーラーに関する。より具体的には、本開示は、負荷シフト能力を有する多段クライオクーラーの温度制御に関する。

【背景技術】

【0002】

クライオクーラーは、物体から熱を引き出し且つそうする際にその物体を極低温まで冷却するように構成された熱管理装置である。多くのクライオクーラーは、約 1.7 K から約 300 K (約 -457 °F から約 80 °F) の範囲の温度までの冷却を提供するように設計される。クライオクーラーは、赤外線検出器、宇宙用途、及び宇宙赤外線センサシステムなどを含む数多くの用途で使用され得る。

40

【発明の概要】

【0003】

本開示は、負荷シフト能力を有する多段クライオクーラーの温度制御を提供する。

【0004】

第 1 の実施形態において、装置は、多段クライオクーラーの複数の段の温度をレギュレートするように構成された温度制御システムを含む。温度制御システムは、(i) 多段クライオクーラーの複数の段に関する温度設定点と、(ii) 多段クライオクーラーの複数の段で測定された温度に対応する温度情報と、を受け取るように構成された入力インタフェースを含む。温度制御システムはまた、温度誤差を決定し且つ圧縮機ストローク誤差及び圧力 - 体積位相誤差のうちの少なくとも一方を計算するように構成されたプロセッ

50

グ回路を含む。温度制御システムは更に、多段クライオクーラーの圧縮機設定及び圧力 - 体積位相のうちの少なくとも一方を調節するように構成された少なくとも1つのコントローラを含む。

【0005】

第2の実施形態において、システムは、複数の段を持つ多段クライオクーラーと、多段クライオクーラーの複数の段の温度をレギュレートするように構成された温度制御システムとを含む。温度制御システムは、(i)多段クライオクーラーの複数の段に関する温度設定点と、(ii)多段クライオクーラーの複数の段で測定された温度に対応する温度情報と、を受け取るように構成された入力インタフェースを含む。温度制御システムはまた、温度誤差を決定し且つ圧縮機ストローク誤差及び圧力 - 体積位相誤差のうちの少なくとも一方を計算するように構成されたプロセッシング回路を含む。温度制御システムは更に、多段クライオクーラーの圧縮機設定及び圧力 - 体積位相のうちの少なくとも一方を調節するように構成された少なくとも1つのコントローラを含む。

10

【0006】

第3の実施形態において、方法は、複数の段を持つ多段クライオクーラーを用いて物体を冷却し、且つ多段クライオクーラーの各段の温度をレギュレートすることを含む。各段の温度をレギュレートすることは、(i)多段クライオクーラーの複数の段に関する温度設定点と、(ii)多段クライオクーラーの複数の段で測定された温度に対応する温度情報とを受信することを含む。各段の温度をレギュレートすることはまた、温度設定点と温度情報とを用いて温度誤差を決定し、該温度誤差を用いて、圧縮機ストローク誤差及び圧力 - 体積位相誤差のうちの少なくとも一方を計算することを含む。各段の温度をレギュレートすることは更に、圧縮機ストローク誤差及び圧力 - 体積位相誤差のうちの少なくとも一方を用いて、多段クライオクーラーの圧縮機設定及び圧力 - 体積位相のうちの少なくとも一方を調節することを含む。

20

【0007】

その他の技術的特徴が、以下の図面、説明、及び請求項から、当業者には容易に明らかになる。

【図面の簡単な説明】

【0008】

より完全なる本開示の理解のため、ここでは、以下の図を含む添付図面とともに以下の説明を参照する。

30

【図1】本開示に従ったクライオクーラーの一例を示している。

【図2】本開示に従った温度制御システム及びクライオクーラーを含むシステムの一例を示している。

【図3】本開示に従った多段クライオクーラー用の温度制御システムの一例を示している。

【図4】本開示に従った多段クライオクーラーにおいて温度を制御するプロセスの一例を示している。

【図5】本開示に従った多段クライオクーラーにおいて温度を制御するための負荷マップの一例を示している。

40

【図6】本開示に従った多段クライオクーラーにおいて温度を制御するのに使用され得るコンピュータの一例を示している。

【発明を実施するための形態】

【0009】

以下に説明される図1 - 6、及び本明細書にて本発明の原理を説明するために使用される様々な実施形態は、単に例示によるものであり、本発明の範囲を限定するように解釈されるべきでない。当業者が理解するように、本発明の原理は、あらゆる種類の好適に構成された装置又はシステムにて実装され得る。

【0010】

数多くの異なる用途で様々なタイプのクライオクーラーが設計及び使用されている。例

50

えば、ハイブリッド型スターリング - パルス管多段クライオクーラーにおいては、利用可能な制御信号（圧縮機ストローク及び圧力 - 体積位相）は、個々の段での熱リフトを独立に調節しない。圧力 - 体積（ PV ）位相は、膨張機における熱力学的過程の位相である。これらの制御入力のうちの一方は圧縮機パワーであり、他方は膨張機における圧力波形及び体積波形の間の位相関係である。例えば、圧力 - 体積位相はディスプレイサ位相とし得る。

ディスプレイサ位相は、圧力波をディスプレイサ相に送るものである圧縮機によって駆動される。第 1 段にて、第 2 段に入るガスを膨張機が予冷し、第 2 段は、第 3 段に入るガスを予冷し、等々と続く。各段の冷却容量は膨張空間の行程容積に比例する。多段クライオクーラーの大抵の用途は、双方の段の温度が独立に制御され得る場合に良好に機能し、これは、個々の段への制御変数（例えば、圧縮機ストローク及び圧力 - 体積位相）の効果を切り離す（デカップリングする）ことを要し得る。各段での熱リフトの独立制御の 1 つの利益は、単一段での熱負荷変化に関連する温度整定（セトリング）時間を短縮させることである。

10

【 0 0 1 1 】

本開示は、多段クライオクーラーの各段に関する温度をレギュレートするように構成された制御システムを提供する。特定の実施形態は、負荷シフト能力を有する多段クライオクーラーを提供し、これは、クライオクーラーの各段における熱リフトの調節の可能性をもたらす。特定の実施形態はまた、多段クライオクーラーの段群を、それらの段の温度が独立に制御されることができるよう独立にレギュレートするように構成される。特定の実施形態は更に、個々の段への制御変数（例えば圧縮機ストローク及び圧力 - 体積位相）の効果を切り離すことを支援する。加えて、特定の実施形態は、単一段での熱負荷変化に関連する温度整定時間を短縮するための各段における熱リフトの独立制御に関するシステム及び方法を提供する。また、特定の実施形態は、複数のクライオクーラー動作パラメータ入力（圧縮機パワー、圧力 - 体積位相、及びこれらに類するもの）を同時に調節することによって、負荷シフト能力を有する多段クライオクーラーの各クライオクーラー段での温度 / 熱リフトを独立に制御する。特定の実施形態は、ディスプレイサメントシリンダ位相を調節することによって PV 位相を制御するが、他の実施形態は、その PV 位相を制御するために異なる方法を使用し得る。本開示の実施形態は、 PV 位相を例示するためにディスプレイサメント位相を記述する。以下ではディスプレイサメント位相なる用語が使用されるが、本開示の範囲を逸脱することなく、圧力 - 体積位相を使用する実施形態も等しく適用される。

20

30

【 0 0 1 2 】

図 1 は、本開示に従ったクライオクーラー 100 の一例を示している。図 1 のクライオクーラー 100 のコンポーネントを参照して特定の詳細事項が提供されることになるが、理解されるべきことには、他の実施形態は、より多くの、より少ない、又は異なるコンポーネントを含み得る。

【 0 0 1 3 】

図 1 のクライオクーラー 100 は、熱力学サイクルにて作業ガス（例えば、ヘリウム、水素、空気、又はこれらに類するものなど）の圧縮及び膨張を行うことによって、物体から熱を引き出すように構成される熱管理装置である。クライオクーラー 100 は、斯くして、物体から熱を引き出し且つそうする際にその物体を、例えば 150 K より低い温度までなど、極低温まで冷却するように動作する。一部の実施形態において、クライオクーラー 100 は、約 1.7 K から約 300 K（約 - 457 ° F から約 80 ° F）の範囲の温度までの冷却を提供するように設計される。特定の実施形態において、クライオクーラー 100 は、等温圧縮、等積冷却、等温膨張、及び等積加熱の順次ステップを経て進行するように構成されるスターリングサイクル冷凍機（クライオクーラー）である。クライオクーラー 100 は、赤外線検出器、宇宙用途、及び宇宙赤外線センサシステムなどを含む数多くの用途での使用に合わせて構成され得る。

40

【 0 0 1 4 】

50

図 1 に示すように、クライオクーラー 100 は、ハウジングの内部に封止された圧縮機 105 及びディスプレイサ 110 を含んでいる。圧縮機 105 は、各々個別にそれぞれの圧縮機モータ 120 に結合された 2 つの圧縮機ピストン 115 を含んでいる。圧縮機モータ 120 は、圧縮機ピストン 115 に往復運動させるために、それぞれの圧縮機ピストン 115 に力を印加するように構成される。圧縮機モータ 120 は、例えば電氣的モータ、機械的モータ、電気機械的モータ、又はコンピュータ駆動モータなど、任意の好適タイプのモータを表す。

【0015】

ディスプレイサ 110 は、ディスプレイサモータ 130 に結合されたディスプレイサシリンダ 125 を含んでいる。ディスプレイサモータ 130 は、圧縮機ピストン 115 と同じ周波数でディスプレイサシリンダ 125 を往復運動させる。ディスプレイサモータ 130 は、例えば電氣的モータ、機械的モータ、電気機械的モータ、又はコンピュータ駆動モータなど、任意の好適タイプのモータを表す。熱交換器 135 が、ディスプレイサシリンダ 125 に結合されて、ディスプレイサシリンダ 125 とともに動く。ディスプレイサシリンダ 125 と圧縮機ピストン 115 との間にシール 140 が結合される。

10

【0016】

図 2 は、本開示に従った温度制御システム (TCS) 205 及びクライオクーラー 210 を含むシステム 200 の一例を示している。クライオクーラー 210 は、負荷シフト能力を有する多段クライオクーラーを表し、TCS 205 は、多段クライオクーラー 210 の段群を、それらの段の温度が独立に制御されるように独立にレギュレートすることができる。図 2 のシステム 200 のコンポーネントを参照して特定の詳細事項が提供されることになるが、理解されるべきことには、他の実施形態は、より多くの、より少ない、又は異なるコンポーネントを含み得る。

20

【0017】

図 2 に示すように、システム 200 は、TCS 205、クライオクーラー 210、圧縮機ストロークコントローラ (CSC) 215、及びディスプレイサ位相コントローラ (DPC) 220 を含んでいる。クライオクーラー 210 は、図 1 のクライオクーラー 100 又はその他の好適なクライオクーラーを表し得る。

【0018】

TCS 205 は、多数のセンサ 230 a - 230 b、CSC 215、及び DPC 220 を介してクライオクーラー 210 に結合される。TCS 205 は、複数の異なる段に関する温度情報をそれぞれのセンサ 230 a - 230 b を介して受け取る。TCS 205 は、CSC 215 及び DPC 220 のうちの 1 つ以上を介して、クライオクーラー 210 の 1 つ以上の段を制御する。センサ 230 a - 230 b から温度情報を受け取ることに応答して、TCS 205 は、クライオクーラー 210 の各段の温度を独立に制御するように構成される。例えば、TCS 205 は、各段の熱リフトを独立に制御して、単一段における熱負荷変化に関連する温度整定時間を短くすることができる。

30

【0019】

センサ 230 a - 230 b は、クライオクーラー 210 のそれぞれの段の温度を測定するように構成される。例えば、第 1 の温度センサ 230 a が、クライオクーラー 210 の第 1 段の温度を測定するように構成され、第 2 の温度センサ 230 b が、クライオクーラー 210 の第 2 段の温度を測定するように構成され得る。図 2 に示す例において、クライオクーラー 210 は 2 つの段を含んでいるが、より多くの段を持つ他の実施形態も使用され得る。センサ 230 a - 230 b からの温度情報は、実際の温度の測定結果、温度差、又はその他の温度測定結果を表し得る。温度差は、例えば、好適若しくは理想的な温度と測定温度との間の差、又は測定温度と好適若しくは理想的な温度範囲内の低め若しくは高めの温度との間の差などの、温度誤差を表し得る。一部の実施形態において、温度情報は、温度が好適温度又は好適温度範囲よりも高いか低いかを指し示すインジケーションを含む。

40

【0020】

50

TCS 205は、クライオクーラー210の各段の温度を、CSC 215及びDPC 220のうちのそれぞれの1つを介して独立に制御するように構成される。CSC 215は、クライオクーラー210の圧縮機105の圧縮機ストローク設定を制御するように構成され、DPC 220は、クライオクーラー210のディスプレイサ110内のディスプレイメントシリンダ125のディスプレイメント位相を制御するように構成される。

【0021】

センサ230a - 230bから温度情報を受け取ることに対応して、TCS 205は、クライオクーラー210の1つ以上の段に関する温度誤差を決定することができる。この情報を用いて、TCS 205は、次いで、圧縮機ストローク誤差又はディスプレイメント位相誤差を計算することができる。すなわち、TCS 205は、温度を調節するための、圧縮機、ディスプレイメントシリンダ、又はこれら双方の量を計算し得る。TCS 205は、圧縮機105の圧縮機ストロークを調節するようCSC 215に命令し、又はディスプレイメントシリンダ125のディスプレイメント位相を調節するようDPC 220に命令し得る。また、TCS 205は、CSC 215及びDPC 220の双方によって調節が為されることを命令し得る。

10

【0022】

図3は、本開示に従った多段クライオクーラー310用の温度制御システム(TCS) 300の一例を示している。TCS 300は、多段クライオクーラー310に負荷シフト能力を提供し、クライオクーラー310の段群を、それらの段の温度が独立に制御されるように独立にレギュレートする。図3のTCS 300及びクライオクーラー310のコンポーネントを参照して特定の詳細事項が提供されることになるが、理解されるべきことには、他の実施形態は、より多くの、より少ない、又は異なるコンポーネントを含み得る。

20

【0023】

TCS 300はここでは、温度コントローラ305、圧縮機ストローク設定点コントローラ(CSSPC) 315、ディスプレイサ位相設定点コントローラ(DPSPC) 320、CSC 325、及びDPC 330を含んでいる。温度コントローラ305は、例えば単一段における熱負荷変化に関連する温度整定時間を短縮するために各段における熱リフトを独立に制御するようになど、クライオクーラー310の段群を独立にレギュレートするように構成されたプロセッシング回路を含んでいる。温度コントローラ305は、個々の段への制御変数(例えば、圧縮機ストローク及びディスプレイサ位相など)の効果切り離す。例えば、温度コントローラ305は、例えば、ディスプレイを含んだオペレータインタフェース、タッチスクリーン、音声入力、又はその他の(1つ以上の)入力/出力装置を介してユーザからなど、クライオクーラー310のそれぞれの段に対応する1つ以上の温度設定点(温度SP) 335 - 340を受け取り得る。設定点335 - 340は、温度コントローラ305の内部メモリに格納され得る。

30

【0024】

温度コントローラ305は、多数のセンサ、CSSPC 315、CSC 325、DPSPC 320、及びDPC 330を介して、クライオクーラー310に結合されている。温度コントローラ305は、クライオクーラー段に関する温度情報をそれぞれのセンサを介して受け取ることができる。様々なセンサが、クライオクーラー310のそれぞれの段の温度を測定するように構成され得る。図3に示す例において、クライオクーラー310は2つの段を含んでいるが、より多くの段を持つ他の実施形態も使用され得る。ここでも、温度情報は、実際の温度の測定結果、温度差、又はその他の温度測定結果を表し得る。

40

【0025】

一部の実施形態において、温度コントローラ305は、測定温度を温度設定点と比較するように構成された多数の比較器を含み、又はそれらに結合される。例えば、第1の比較器345が、クライオクーラー310の第1段の測定温度を受け取って、それを温度設定点335と比較し、第2の比較器350が、クライオクーラー310の第2段の測定温度を受け取って、それを温度設定点340と比較する。比較器345 - 350は、比較の結果

50

果に基づいて、クライオクーラー 310 のこれらの段の温度差又は温度誤差を計算する。比較器 345 - 350 によって計算された温度誤差が、温度コントローラ 305 に提供される。

【0026】

温度情報を受け取ることに応答して、温度コントローラ 305 は、デカップラ / 感度行列を生成する。デカップラ / 感度行列は、クライオクーラー 310 からの測定された線形化された応答データの逆をとったものとして計算される。温度コントローラ 305 は、温度情報をデカップラ / 感度行列に適用して、圧縮機ストローク誤差及びディスプレイメント位相誤差を計算する。例えば、温度コントローラ 305 は、温度差又は温度誤差をデカップラ / 感度行列に当てはめることで、各段について、圧縮機ストローク（圧縮機ストローク誤差）を変化させるべき量、及びディスプレイメント位相（ディスプレイメント位相誤差）を変化させるべき量を計算することができる。また、デカップラ / 感度行列は、動作条件の関数とし得る。例えば、デカップラ行列は、55 K 及び 10 K で制御するときには A に等しくあり得るが、85 K 及び 30 K で制御するときには B に等しくなり、一組の負荷マップとして格納又は測定され得る。

10

【0027】

温度コントローラ 305 は、CSC 325 及び DPC 330 のうちの 1 つ以上を介して、クライオクーラー 310 の 1 つ以上の段を制御する。温度コントローラ 305 は、圧縮機ストローク誤差を CSSPC 315 に提供し、それが新たな圧縮機ストローク設定点を計算する。温度コントローラ 305 は、ディスプレイメント位相誤差を DPSPC 320 に提供し、それが新たなディスプレイメント位相設定点を計算する。例えば、DPSPC 320 は、クライオクーラー 310 にて測定された圧力 - 体積（ディスプレイメント）位相と、圧力 - 体積（ディスプレイメント）位相誤差とを受け取るように構成されることができ、DPSPC 320 は、DPC 330 に、クライオクーラー 310 の圧力 - 体積（ディスプレイメント）位相における圧力波形と体積波形との間の位相関係を調節させるように構成される。

20

【0028】

第 3 の比較器 355 が、CSSPC 315 からの新たな圧縮機ストローク設定点と、クライオクーラー 310 の圧縮機において測定された圧縮機ストロークとを受け取って比較する。第 4 の比較器 360 が、DPSPC 320 からの新たなディスプレイメント位相設定点と、クライオクーラー 310 のディスプレイメントシリンダにおいて測定されたディスプレイメント位相とを受け取って比較する。一部の実施形態において、第 3 の比較器 355 は CSC 325 の一部であり、第 4 の比較器 360 は DPC 330 の一部である。

30

【0029】

CSC 325 は、新たな圧縮機ストローク設定点と測定された圧縮機ストロークとの比較に基づいて、クライオクーラー 310 の圧縮機ストロークを調節すべき量を決定する。そして、CSC 325 は、クライオクーラー 310 の圧縮機の圧縮機ストロークを、決定した量だけ調節する。DPC 330 は、新たなディスプレイメント位相設定点と測定されたディスプレイメント位相との比較に基づいて、クライオクーラー 310 のディスプレイメント位相を調節すべき量を決定する。そして、DPC 330 は、クライオクーラー 310 における圧力波形と体積波形との間の位相関係を調節することによって、クライオクーラー 310 のディスプレイメントシリンダのディスプレイメント位相を、決定した量だけ調節する。従って、クライオクーラー 310 に関する温度情報を受け取ることに応答して、温度コントローラ 305 は、クライオクーラー 310 の各段の温度を独立に制御するように構成される。

40

【0030】

図 4 は、本開示に従った多段クライオクーラーにおいて温度を制御するプロセス 400 の一例を示している。図 4 に示すシナリオは、2 つの段を持つ多段クライオクーラーに対応しているが、より多くの段も使用され得る。図 4 に示すプロセス 400 は、図 1 - 3 の

50

うちの1つ以上にて説明したコンポーネントとともに、又はその他のコンポーネントとともに使用され得る。

【0031】

ステップ405にて、温度コントローラが、多段クライオクーラーのそれぞれの段に対応する温度設定点を受け取る。一部の実施形態において、例えば温度設定点などの1つ以上の設定点が、温度コントローラの内部メモリに格納される。

【0032】

ステップ410にて、1つ以上のセンサが、クライオクーラーのそれぞれの段の温度を測定する。センサは、測定した温度を温度情報の一部として温度コントローラに提供する。一部の実施形態において、測定された温度は、測定温度を対応する設定点と比較するように構成された1つ以上の比較器に提供される。

10

【0033】

ステップ415にて、段ごとに温度誤差が計算される。ステップ420にて、温度コントローラが、デカップラ/感度行列を生成する。デカップラ/感度行列は、多段クライオクーラーの測定された線形化されたデータ応答の逆をとったものである。一部の実施形態において、デカップラ/感度行列は、温度コントローラのメモリに予め格納されている。

【0034】

ステップ425にて、温度コントローラが、温度誤差をデカップラ/感度行列に当てはめて、圧縮機ストローク誤差及びディスプレイメント位相誤差を計算する。ステップ430にて、CSC及びDPCが圧縮機設定及びディスプレイメントシリンダ位相を調節する。1つ以上のセンサが、圧縮機設定、ディスプレイメントシリンダ位相、又はこれらの双方を測定する。これらのセンサが、測定した圧縮機設定、ディスプレイメントシリンダ位相、又はこれらの双方を、CSC及びDPCに提供し得る。一部の実施形態において、測定された圧縮機設定及びディスプレイメントシリンダ位相は、当該測定された圧縮機設定及びディスプレイメントシリンダ位相を対応する設定点と比較して、圧縮機設定を調節すべき量及びディスプレイメントシリンダ位相を調節すべき量を計算するように構成された1つ以上の比較器に提供される。CSC及びDPCが、計算された量を用いて、圧縮機設定及びディスプレイメントシリンダ位相を調節する。例えば、DPCは、クライオクーラーにおいて測定された圧力・体積（ディスプレイメント）位相と圧力・体積（ディスプレイメント）位相誤差とを受け取って、クライオクーラーの圧力・体積（ディスプレイメント）位相における圧力波形と体積波形との間の位相関係を調節するように構成され得る。

20

30

【0035】

図5は、本開示に従った多段クライオクーラーにおいて温度を制御するための負荷マップ500の一例を示している。図5に示す負荷マップ500は、2つの段を持つ多段クライオクーラーに対応しているが、より多くの段又は異なる温度範囲も使用され得る。この負荷マップ500は、図1-3のうち1つ以上にて説明したコンポーネントとともに、又はその他のコンポーネントとともに使用され得る。

【0036】

この例の負荷マップ500は、応答データである性能指標として多段クライオクーラーから取られる測定結果に対応している。負荷マップ500を取得するため、クライオクーラーへの全ての入力が、1つを除いて一定に維持され、すなわち、スターリング位相角又は圧縮機入力パワーの何れかが変化される。第1の組のライン505は、一定の圧縮機パワーでの位相角の変化による各段における熱リフトの応答を指し示している。第2の組のライン510は、一定の位相角での圧縮機パワーの変化による各段における熱リフトの応答を示している。全ての出力に対する1つの制御入力の応答はかなり線形であり、故に、負荷マップ500は、1つの制御入力における変化がシステムにおける全ての出力にどのように影響するかを例示している。

40

【0037】

図6は、本開示に従った多段クライオクーラーにおいて温度を制御するのに使用され得

50

るコンピュータの一例を示している。図 6 に示すように、装置 6 0 0 はバスシステム 6 0 2 を含んでおり、バスシステム 6 0 2 が、少なくとも 1 つのプロセッシングデバイス 6 0 4、少なくとも 1 つのストレージデバイス 6 0 6、少なくとも 1 つの通信ユニット 6 0 8、及び少なくとも 1 つの入力 / 出力 (I / O) ユニット 6 1 0 の間の通信をサポートする。

【 0 0 3 8 】

プロセッシングデバイス 6 0 4 は、メモリ 6 1 2 にロードされ得る命令を実行する。プロセッシングデバイス 6 0 4 は、如何なる好適な数及びタイプのプロセッサ又はその他のデバイスを如何なる好適な構成で含んでいてもよい。プロセッシングデバイス 6 0 4 のタイプの例は、マイクロプロセッサ、マイクロコントローラ、デジタル信号プロセッサ、フィールド・プログラマブル・ゲート・アレイ、特定用途向け集積回路、及びディスクリット回路を含む。

10

【 0 0 3 9 】

メモリ 6 1 2 及び永続的ストレージ 6 1 4 は、情報 (例えば、一時的ベース又は永続的ベースの、データ、プログラムコード、及び / 又はその他の好適な情報) を格納するとともにその取り出しを支援することが可能な如何なる構造をも表すものであるストレージデバイス 6 0 6 の例である。メモリ 6 1 2 は、ランダムアクセスメモリ又はその他の好適な揮発性若しくは不揮発性のストレージデバイスを表し得る。永続的ストレージ 6 1 4 は、例えば読み出し専用メモリ、ハードドライブ、フラッシュメモリ、又は光ディスクなど、より長期のデータストレージをサポートする 1 つ以上のコンポーネント又はデバイスを含み得る。

20

【 0 0 4 0 】

通信ユニット 6 0 8 は、他のシステム又は装置との通信をサポートする。例えば、通信ユニット 6 0 8 は、少なくとも 1 つのイーサネット (登録商標) ネットワーク上での通信を支援するネットワークインタフェースカードを含み得る。通信ユニット 6 0 8 はまた、少なくとも 1 つの無線ネットワーク上での通信を支援する無線トランシーバを含み得る。通信ユニット 6 0 8 は、如何なる好適な物理的通信リンク又は無線通信リンクを介した通信をサポートしてもよい。

【 0 0 4 1 】

I / O ユニット 6 1 0 は、データの入力及び出力を可能にする。例えば、I / O ユニット 6 1 0 は、キーボード、マウス、キーパッド、タッチスクリーン、又はその他の好適な入力装置を介したユーザ入力のための接続を提供し得る。I / O ユニット 6 1 0 はまた、出力をディスプレイ、プリンタ、又はその他の好適な出力装置へと送り得る。

30

【 0 0 4 2 】

図 1 - 6 はクライオクーラー及び温度制御システムの例を示しているが、様々な変形が図 1 - 6 に為され得る。例えば、理解されるように、周知のプロセスは、詳細に記載されておらず、簡潔さのために省略されている。具体的なステップ、構造及び材料が記載されているが、本開示はそれら具体的なものに限定されるものではなく、当業者によって理解されるように他のもので代用されてもよく、また、様々なステップは必ずしも、示した順序で実行されなくてもよい。また、如何なる好適な多段クライオクーラーが、上述の温度制御システムとともに使用されてもよい。加えて、温度制御システムにおいて示した機能的な区切りは単に説明のためであり、様々なコンポーネントが、具体的なニーズに従って、組み合わせられ、更に細分化され、省略され、配置換えされ、あるいは追加され得る。

40

【 0 0 4 3 】

一部の実施形態において、上述の様々な機能は、コンピュータ読み取り可能プログラムコードから形成されてコンピュータ読み取り可能媒体にて具現化されるコンピュータプログラムによって実装又はサポートされる。“コンピュータ読み取り可能プログラムコード”なる言い回しは、ソースコード、オブジェクトコード、及び実行可能コードを含め、如何なるタイプのコンピュータコードをも含む。“コンピュータ読み取り可能媒体”なる言い回しは、例えば、読み出し専用メモリ (R O M)、ランダムアクセスメモリ (R A M)

50

、ハードディスクドライブ、コンパクトディスク（CD）、デジタルビデオディスク（DVD）、又はその他のタイプのメモリなど、コンピュータによってアクセスされることが可能な如何なるタイプの媒体をも含む。“非一時的”なコンピュータ読み取り可能媒体は、一時的な電氣的又はその他の信号を輸送する有線リンク、無線リンク、光リンク、又はその他の通信リンクを除外する。非一時的コンピュータ読み取り可能媒体は、例えば書換可能な光ディスク又は消去可能なメモリデバイスなど、データが永続的に格納され得る媒体及びデータが格納され且つ後に上書きされ得る媒体を含む。

【0044】

本特許文献の全体を通して使用される特定の単語及びフレーズの定義を説明しておくことが有益であるかもしれない。用語“アプリケーション”及び“プログラム”は、好適なコンピュータコード（ソースコード、オブジェクトコード、又は実行可能コードを含む）での実装に合わせて適応された、1つ以上のコンピュータプログラム、ソフトウェアコンポーネント、命令セット、プロシージャ、ファンクション、オブジェクト、クラス、インスタンス、関連データ、又はこれらの一部を指す。用語“通信する”及びその派生語は、直接的及び間接的の双方での通信を包含する。用語“含む”及び“有する”、並びにこれらの派生語は、限定なしでの包含を意味する。用語“又は”は、及び/又はを意味する包括的なものである。“～と関連付けられる”なる言い回し、及びその派生語は、～を含む、～の中に含まれる、～と相互接続される、～を含有する、～内に含有される、～に又は～と接続する、～に又は～と結合する、～と通信可能である、～と協働する、～と交互である、～隣り合う、～に近接した、～に又は～と結合される、～を有する、～の特性を有する、～に又は～と関係を有する、又はこれらに類するものを意味し得る。“～のうちの少なくとも1つ”なる言い回しは、アイテムのリストとともに使用されるとき、リストアップされたアイテムのうちの1つ以上の様々な組み合わせが使用され得ることを意味し、リスト内の1つのアイテムのみが必要とされることもある。例えば、“A、B、及びCのうちの少なくとも1つ”は、以下の組み合わせ：A、B、C、AとB、AとC、BとC、及びAとBとC、のうちの何れをも含む。

【0045】

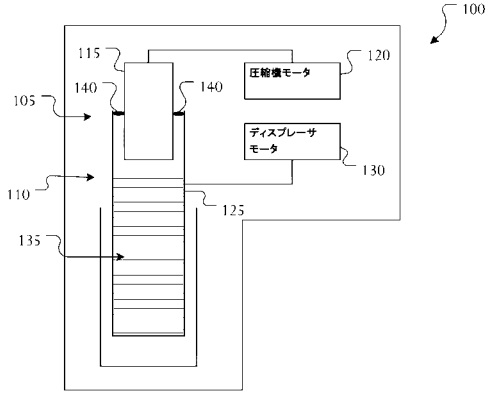
本開示は、特定の実施形態及び概して関連する方法を述べてきたが、これらの実施形態及び方法の改変及び並べ替えが当業者に明らかになる。従って、以上の実施形態例の説明は、本開示を定めたり制約したりするものではない。以下の請求項によって規定される本開示の精神及び範囲を逸脱することなく、その他の変形、代用、及び改変も可能である。

10

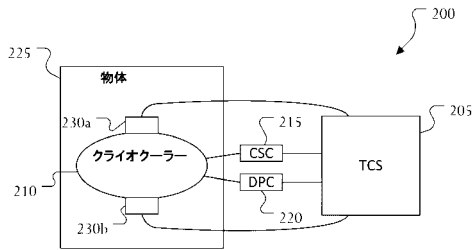
20

30

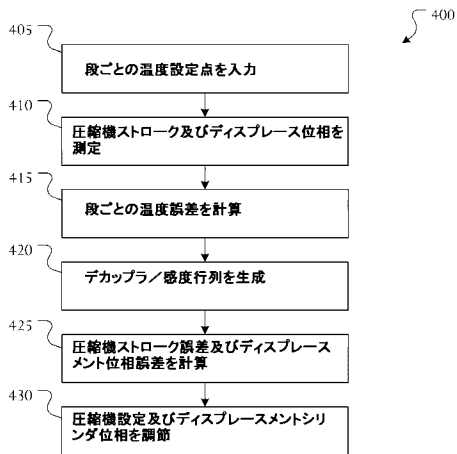
【図1】



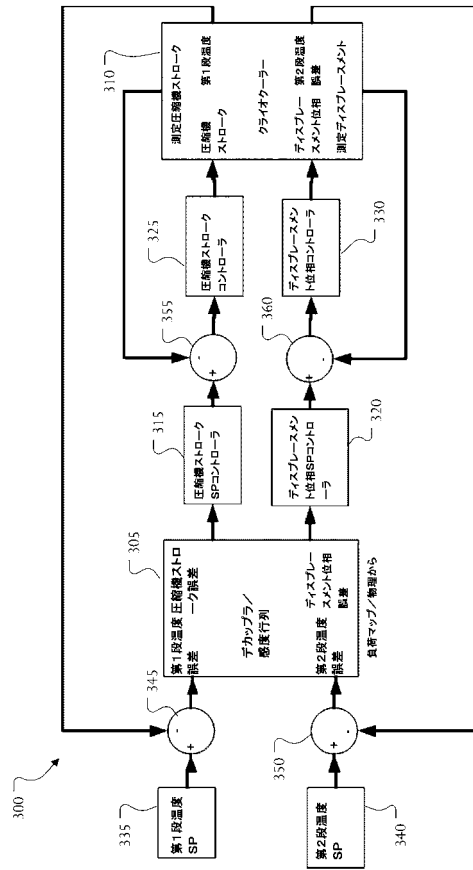
【図2】



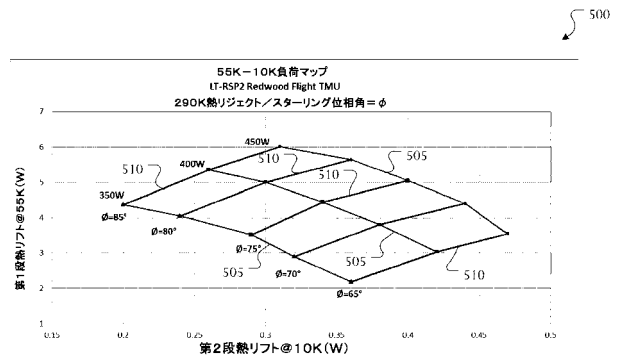
【図4】



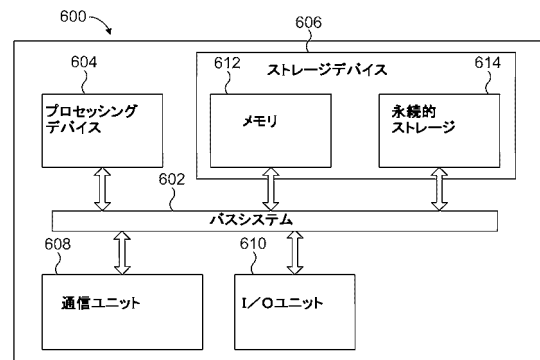
【図3】



【図5】



【図6】



【 国際調査報告 】

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No

PCT/US2015/035362

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER INV. F25B9/10 G05D23/20 F25B49/02 F25B9/14 ADD.		
According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC		
B. FIELDS SEARCHED Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols) F25B G05D		
Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched		
Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used) EPO-Internal, WPI Data		
C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X A	US 5 535 593 A (WU YEONG-WEI A [US] ET AL) 16 July 1996 (1996-07-16) the whole document	1-3,6, 8-10,13, 15-17 4,5,7, 11,12, 14,18-20
X A	----- US 5 018 357 A (LIVINGSTONE JAMES [US] ET AL) 28 May 1991 (1991-05-28) the whole document	1-3,6, 8-10,13, 15-17 4,5,7, 11,12, 14,18-20
A	----- US 5 032 772 A (GULLY WILFRED J [US] ET AL) 16 July 1991 (1991-07-16) the whole document ----- -/--	1-20
<input checked="" type="checkbox"/> Further documents are listed in the continuation of Box C.		<input checked="" type="checkbox"/> See patent family annex.
* Special categories of cited documents :		
"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance		"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date		"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)		"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art
"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means		"&" document member of the same patent family
"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed		
Date of the actual completion of the international search	Date of mailing of the international search report	
21 September 2015	28/09/2015	
Name and mailing address of the ISA/ European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2 NL - 2280 HV Rijswijk Tel. (+31-70) 340-2040, Fax: (+31-70) 340-3016	Authorized officer Lucic, Anita	

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No
PCT/US2015/035362

C(Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	US 2005/229608 A1 (KEITER DOUGLAS E [US] ET AL) 20 October 2005 (2005-10-20) the whole document -----	1-20

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International application No

PCT/US2015/035362

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date
US 5535593	A	16-07-1996	NONE

US 5018357	A	28-05-1991	NONE

US 5032772	A	16-07-1991	NONE

US 2005229608	A1	20-10-2005	AT 441820 T 15-09-2009
		AU 2005238856 A1	10-11-2005
		BR P10509856 A	23-10-2007
		CN 101014816 A	08-08-2007
		EP 1735571 A2	27-12-2006
		HK 1103121 A1	31-12-2009
		JP 4369512 B2	25-11-2009
		JP 2007532858 A	15-11-2007
		KR 20070000509 A	02-01-2007
		US 2005229608 A1	20-10-2005
		WO 2005106351 A2	10-11-2005

フロントページの続き

(81)指定国 AP(BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), EA(AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), EP(AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OA(BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG), AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JP, KE, KG, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US

(72)発明者 キーファー, マイケル, エイチ.

アメリカ合衆国 カリフォルニア州 90278-8783 レドンド・ビーチ アーテシア・ブルーバード 2110 118番

(72)発明者 コンラド, セオドア, ジェイ.

アメリカ合衆国 カリフォルニア州 90277-3773 レドンド・ビーチ サウス・ブロードウェイ・アパートメント エー 412

(72)発明者 ベリス, ロウエル, エー.

アメリカ合衆国 カリフォルニア州 90805-1002 ロング・ビーチ イースト・70番・ストリート 731

(72)発明者 アルヤン, マルワン

アメリカ合衆国 カリフォルニア州 90505 トーランス ウェスト・225番・ストリート 3603