

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第3708527号

(P3708527)

(45) 発行日 平成17年10月19日(2005.10.19)

(24) 登録日 平成17年8月12日(2005.8.12)

(51) Int. Cl.<sup>7</sup>

F I

F 2 5 J 1/00

F 2 5 J 1/00

C

F 2 5 B 9/00

F 2 5 B 9/00

Z

請求項の数 3 (全 15 頁)

(21) 出願番号	特願2003-52338 (P2003-52338)	(73) 特許権者	503360115
(22) 出願日	平成15年2月28日(2003.2.28)		独立行政法人科学技術振興機構
(65) 公開番号	特開2004-263890 (P2004-263890A)		埼玉県川口市本町4丁目1番8号
(43) 公開日	平成16年9月24日(2004.9.24)	(74) 代理人	100099265
審査請求日	平成15年2月28日(2003.2.28)		弁理士 長瀬 成城
		(72) 発明者	内田 公
			茨城県つくば市松代2-24-1 マリノ
			ス松代c202
		(72) 発明者	武田 常広
			茨城県つくば市春日2-43-8
		審査官	服部 智

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 循環式液体ヘリウム再液化装置の制御装置および制御方法

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

液体ヘリウム貯留槽から気化したヘリウムガスを循環ポンプで汲み上げて精製器で精製し、再び液化した後、液体ヘリウム貯留槽に循環利用できる循環式液体ヘリウム再液化装置を制御するための制御装置であって、前記制御装置は、制御内容を記載したスクリプトファイルと、そのスクリプトファイルからの命令を読み込むとともに計測装置からの計測値をもとに前記スクリプトファイル命令を実行する制御器と、前記制御器からの命令により作動する作動機器とを備え、前記作動機器は少なくとも前記精製器に設けた加熱ヒータと、前記精製器内のガスを排気する排気ポンプと、前記循環式液体ヘリウム再液化装置内に配置した弁であり、前記スクリプトファイルの内容の書き換えにより前記加熱ヒータと前記排気ポンプと前記弁の制御態様を自由に変更できるようにしたことを特徴とする循環式液体ヘリウム再液化装置の制御装置。

10

【請求項2】

前記制御装置は、状態記録ファイルを備えていることを特徴とする請求項1に記載の循環式液体ヘリウム再液化装置の制御装置。

【請求項3】

液体ヘリウム貯留槽から気化したヘリウムガスを循環ポンプで汲み上げて精製器で精製し、再び液化した後、液体ヘリウム貯留槽に循環利用できる循環式液体ヘリウム再液化装置の制御装置の制御方法であって、制御内容を記載したスクリプトファイルを制御器で読み込み、さらに制御器では計測装置からの計測値をもとに前記スクリプトファイルの命令を

20

実行することにより、前記精製器に設けた加熱ヒータと、前記精製器内のガスを排気する排気ポンプと、前記循環式液体ヘリウム再液化装置内に配置した弁とを作動することを特徴とする循環式液体ヘリウム再液化装置の制御方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】

本発明は循環式液体ヘリウム再液化装置の制御装置および制御方法に関するものであり、さらに具体的には、循環式液体ヘリウム再液化装置内に備えた精製器内部に凝固した不純物を、確実に精製器外部に排出することを保障するためのヒータ、ポンプ、冷凍機、弁など作動機器を制御するために好適な制御装置および制御方法に関するものである。

10

【0002】

【従来の技術】

極めて多くの低温物性研究や超伝導素子を用いた計測器等の冷却に、液体ヘリウムは不可欠である。こうした機器において、現在ほとんどの場合、冷却のための液体ヘリウムは蒸発した後、大気に放出する形で利用されている。ところが液体ヘリウムは希少な資源であり、高価なため、蒸発したヘリウムガスを回収し再度液化して再利用したいという要求は極めて強いものがある。

このため、最近では、液体ヘリウム貯留槽で気化したヘリウムガスを全量回収し、システム内でヘリウムガス内の汚染物質を除去した後、再凝縮して液化する再循環システムが研究されている（特許文献1）。

20

【0003】

【特許文献1】

特開2000-105072

【0004】

ところで、前記従来型の循環システムでは、システム内の種々のシール箇所から、極微量の酸素や窒素等の汚染物質が少しずつヘリウムガス内に混入することを防ぐことができず、このためヘリウムガスを冷却する過程において、ガス内に混入している極微量の酸素や窒素等の汚染物質が装置内の種々の箇所で凍りつき、循環システムを閉塞しシステムが正常に運転できないという問題がでてきた。

こうした問題を解決するために、本発明者等は、すでにヘリウムガス精製器を開発し、上記汚染物質を凝固して取り除くことに成功している。このヘリウムガス精製器は、システム運転中に汚染物質を精製器内で凝固し、精製器内に汚染物質が所定量蓄積されると、精製器に付設したヒータによって凝固した汚染物質を液化し、液化した汚染物質を適宜手段により精製器から系外に排出できる仕組みとなっている（特許文献2）。

30

【0005】

【特許文献2】

特願2002-16430〔特許請求の範囲〕

【0006】

【発明が解決しようとする課題】

しかし、システム内の配管系に侵入する汚染物質は、システムの密封性をいくら高めても極くわずかつシステム内に侵入し、その凝固物は予測不能な部分で成長するため、単純に容積の大きなヘリウムガス精製器を作っても意外に早く閉塞が発生し、長期間の使用に耐えられないという問題が明らかとなってきた。

40

また汚染物質を液化して系外に排出するということは、精製器内で汚染物質を気化させることなく液化状態に維持しておく必要があるため、精製器に付設のヒータの温度管理が必要となり、その管理が面倒であり、さらに液化した汚染物質を精製器からわざわざ取り出すための作業が必要となってくる。

【0007】

本発明者らは、従来の装置が有するこうした問題点を解決するために、液体ヘリウム再液化装置内の精製器に付設のヒータの温度管理を容易に行なうことができる制御装置および

50

制御方法の開発に成功した。

本発明は、液体ヘリウム貯留槽から気化したヘリウムガスを循環ポンプで汲み上げて精製器で精製し、再び液化した後、液体ヘリウム貯留槽に循環利用できる液体ヘリウム再液化装置において、装置内に設けたヒータ、ポンプ、冷凍機、弁などの作動機器を効率的に制御しながら精製器内で固化した汚染物質を系外に排出するための制御内容を記載したスクリプトファイル（人間に理解可能な手順書）を備え、そのスクリプトファイルからの命令および各種計測装置からの計測値をもとに作動機器を効率的に制御しつつ汚染物質を系外に排出できる制御装置および制御方法を提供せんとするものである。

この制御装置ではスクリプトファイルの内容を書き換えるだけで循環式液体ヘリウム再液化装置の制御態様を自由に変更できることが可能となり、複雑な操作を自動的に実行して最適制御を実現できる。なおスクリプトファイルは人間が容易に理解できる手順書のことであり、この手順書を書き換えるだけで、装置の作動状態を自由に設定することができるものである。

【0008】

【発明が解決しようとする課題】

このため、本発明が採用した技術解決手段は、

液体ヘリウム貯留槽から気化したヘリウムガスを循環ポンプで汲み上げて精製器で精製し、再び液化した後、液体ヘリウム貯留槽に循環利用できる循環式液体ヘリウム再液化装置を制御するための制御装置であって、前記制御装置は、制御内容を記載したスクリプトファイルと、そのスクリプトファイルからの命令を読み込むとともに計測装置からの計測値をもとに前記スクリプトファイル命令を実行する制御器と、前記制御器からの命令により作動する作動機器とを備え、前記作動機器は少なくとも前記精製器に設けた加熱ヒータと、前記精製器内のガスを排気する排気ポンプと、前記循環式液体ヘリウム再液化装置内に配置した弁であり、前記スクリプトファイルの内容の書き換えにより前記加熱ヒータと前記排気ポンプと前記弁の制御態様を自由に変更できるようにしたことを特徴とする循環式液体ヘリウム再液化装置の制御装置である。

また、前記制御装置は、状態記録ファイルを備えていることを特徴とする循環式液体ヘリウム再液化装置の制御装置である。

また、液体ヘリウム貯留槽から気化したヘリウムガスを循環ポンプで汲み上げて精製器で精製し、再び液化した後、液体ヘリウム貯留槽に循環利用できる循環式液体ヘリウム再液化装置の制御装置の制御方法であって、制御内容を記載したスクリプトファイルを制御器で読み込み、さらに制御器では計測装置からの計測値をもとに前記スクリプトファイルの命令を実行することにより、前記精製器に設けた加熱ヒータと、前記精製器内のガスを排気する排気ポンプと、前記循環式液体ヘリウム再液化装置内に配置した弁とを作動することを特徴とする循環式液体ヘリウム再液化装置の制御方法である。

【0009】

【発明の実施形態】

以下、図面を参照して本発明に係る循環式液体ヘリウム再液化装置の説明をすると、図1は本発明の実施形態に係る循環式液体ヘリウム再液化装置の構成図、図2は同装置内で使用する精製器の構成図、図3は精製器に設けたヒータの制御ブロック図、図4はヒータの加熱および気化した汚染物質を排気する状態の説明図、図5は本発明に係る循環式液体ヘリウム再液化装置を制御するための制御装置の構成図であり、以下の循環式液体ヘリウム再液化装置は精製器内で固化した汚染物質を気化して系外に排出する例である。

【0010】

図1において、1はヘリウムガスポンプ、2はデュワー（液体ヘリウム貯留槽）、3はコールドボックス、4はヒータ付の凝縮ポット（ヒータは図示せず）、5は最近進歩の著しい冷却能力の大きな冷凍機でありヘリウムガスを略40K程度にまで冷却する第1冷凍ステージ5Aと、略40Kにまで冷却されたヘリウムガスを略4K程度にまで冷却する第2冷凍ステージ5Bからなる2台の冷凍機、6Aは略4Kライン内のヒータ付第1精製器、6Bは略40Kライン内のヒータ付第2精製器、7は循環ポンプ、8は排気ポンプ、PS

10

20

30

40

50

1、P S 2、P 0、P 3～P 6は圧力計、V 1 2は循環ポンプ7の流出弁、V 1 3は循環ポンプ7の流入弁、V 2、V 1 4は切替弁、C V 1～C V 8はチャッキ弁、M F C 1は略4 Kライン内の流量調整用の一定流量制御弁、M F C 2は略4 0 Kライン内の流量調整の一定流量制御弁、M F 3～M F 5は質量流量計、E V 1はノーマルオープンの電磁弁、E V 2～E V 7はノーマルクローズの電磁弁、F 1、F 2はフィルター、S V 1は安全弁である。

#### 【0011】

前記凝縮ポット4に設けられるヒータは、少なくとも2段階での温度制御が可能な能力をもち、精製器6 A、6 B内の汚染物質を後述する態様で気化する際にはヒータを最大能力（たとえば1 K W程度）とし、通常運転の時はヒータを最低能力（たとえば2 W程度）で制御しながら使用する。なお、このヒータは別々のヒータを設けても良いし、一つのヒータを使用し、温度制御しながら使用することも可能である。また、前記冷凍機5は必要に応じて数を増減することができる。また、本実施形態では2段の冷凍機を2台使用したが、多段の冷凍機に代えたり、1台にすることも可能である。

10

#### 【0012】

また、コールドボックス3内の凝縮ポット4、冷凍機5とデュワー2とを接続する流路（回路）には、複数の流路を一体に構成したトランスファーチューブTを使用し、第1精製器6 A、第2精製器6 Bおよび凝縮ポット4にはヒータ（後述する）が付設され、汚染物質を除去する時等に各ヒータを作動させることができるようになっている。

#### 【0013】

また、本例では、前記第1精製器6 A、第2精製器6 Bへの流入側回路には、それぞれチャッキ弁C V 3、C V 4、電磁弁E V 2、電磁弁E V 3を介して質量流量計M F 5が接続され、さらにこの質量流量計M F 5には排気ポンプ8が接続されている。なお、チャッキ弁C V 3、C V 4の上流側を合流して一つの回路とし、チャッキ弁C V 3、C V 4および電磁弁E V 2、E V 3をそれぞれ一つの弁とすることが可能であり、さらに合流箇所をチャッキ弁C V 3、C V 4の下流側にすることも可能であり、それらの選択は設計時に自由に選定することができる。

20

さらに略4 Kライン内の一定流量制御弁M F C 1の流入側とデュワー2とは図示のように、チャッキ弁C V 7、ノーマルクローズの電磁弁E V 4と切替弁V 1 4とを備えた回路で接続されている。

30

#### 【0014】

また、デュワー2のネックチューブ部からの高温ヘリウムガスを取り出すための回路（デュワー2と質量流量計M F 3を接続する回路）の途中にはノーマルクローズの電磁弁E V 6が配置され、その下流側にはチャッキ弁C V 8が設けられている。

前記各部品は、図示のように配管で接続され基本部分では従来の循環式液体ヘリウム再液化装置と同様の回路構成となっている。

また、精製器内のヒータ、循環ポンプ7、排気ポンプ8、複数の電磁弁および切替弁等は図3（詳細は後述する）に示すように装置をコントロールする制御器からの指令により作動する構成となっている。なお、装置内の弁は適宜省略、増設することが可能である。また、第1、第2精製器6 A、6 Bの詳細構成は後述する。

40

#### 【0015】

上記循環式液体ヘリウム再液化装置の作動態様の一例を説明する。

#### 〔通常運転〕

公知のようにデュワー2で蒸発したヘリウムガスはデュワー2のネックチューブ部から質量流量計M F 3 ノーマルオープンの電磁弁E V 1 流入弁1 3 循環ポンプ7 流出弁1 2 フィルタF 1を経た後、二つに分岐される。

分岐後の一方側は略4 0 Kライン内の一定流量制御弁M F C 2 チャッキ弁C V 2を通過して第2精製器6 Bに入り、精製された後、冷凍機5に送られる。また、分岐後の他方側は、チャッキ弁C V 6 フィルタF 2 略4 Kライン内の一定流量制御弁M F C 1 チャッキ弁C V 1を通過して第1精製器6 Aに入り、精製された後、冷凍機5に送られる。第1

50

精製器 6 A で精製された略 4 K ライン内のヘリウムガスは図 1 に示すように冷凍機 5 の第 1 冷凍ステージ 5 A で略 40 K にまで冷却された後、第 2 ステージ 5 B で冷却される凝縮ポット 4 に供給される。

第 2 精製器 6 B で精製されたヘリウムガスは冷凍機 5 の第 1 冷凍ステージ 5 A において略 40 K 程度にまで冷却され図 1 に示すようにデュワー 2 のネック部に略 40 K の冷却用ヘリウムガスとして供給される。凝縮ポット 4 内は、第 2 ステージ 5 B からの冷熱により略 4 K まで冷却されており、凝縮ポット 4 内に供給されたヘリウムガスは液化され、デュワー 2 に供給される。デュワー 2 からはガス化した略 4 K ガスの一部が凝縮ポット 4 に戻り、再び液化される。

#### 【 0016 】

〔通常運転中、ヘリウムガス不足が生じた場合〕

上記装置において、運転中に装置全体が過冷却状態になると、必要以上にヘリウムガスの液化が進みデュワー 2 内の圧力が低下する。このような圧力低下を検知すると、凝縮ポット内の最低能力のヒータ（2 W 程度のヒータ）を作動させ、温度を昇温させてデュワー 2 内の圧力低下を防止する。また、デュワー 2 内で液体ヘリウムが不足した場合には必要に応じてノーマルクローズの電磁弁 E V 5 を開き質量流量計 M F 4 を介して不足分のヘリウムガスを略 4 K ライン内の一定流量制御弁 M F C 1 を介して第 1 精製器 6 A に供給し、精製されたヘリウムガスを冷凍機で冷却してデュワー 2 に供給できるようにする。このとき、ヘリウムガスの供給が充分になると、デュワー 2 内の圧力が所定値以上に昇圧するため、ノーマルクローズの電磁弁 E V 5 を閉じ、ヘリウムガスポンペ 1 からのヘリウムガスの供給を止めデュワー 2 内を適正值に維持する。なお、ヘリウムガスポンペ 1 からのヘリウムガスの供給は、ノーマルクローズの電磁弁 E V 5 だけでなく、必要に応じてノーマルクローズの電磁弁 E V 7、あるいは両方からも供給することが可能である。

#### 【 0017 】

〔精製器内の汚染物質の除去〕

循環式液体ヘリウム再液化装置が作動中に第 1 精製器 6 A、第 2 精製器 6 B（各精製器の構成は後述する）に汚染物質が所定以上に溜まる（固着する）と、ヘリウム液化作動を一旦停止し、第 1 精製器 6 A、第 2 精製器 6 B 内のヒータ、凝縮ポット 4 に付設の最大能力のヒータ（1 K W）を作動する（なお、このヒータの作動は精製器のヒータのみ、凝縮器のヒータのみ、あるいは両ヒータをともに作動することができる）。この結果、第 1 精製器 6 A、第 2 精製器 6 B 内が加熱されフィン（フィンの構成については後述する）等に固着している固化汚染物質が気化される。この時、電磁弁 E V 2、E V 3 を開き、排気ポンプ 8 を作動すると排気ポンプ 8 の働きにより気化した汚染物質は排気ポンプ 8 から系外に排出される。凝縮ポット 4 に設けた高能力ヒータ（略 1 K W）が作動している場合には、熱伝導によって精製器 6 A、6 B が暖められると同時に凝縮ポット 4 内のヘリウムガスが暖められ、第 1 精製器 6 A、第 2 精製器 6 B に温まったヘリウムガスを逆流させることができる。こうして、第 1 精製器 6 A、第 2 精製器 6 B 内の汚染物質を気化することにより除去でき、再び、ヘリウムガス精製が可能な状態に復帰する。なお、ヒータのさらに詳しい制御については後述する。

#### 【 0018 】

〔装置の通常運転へ復帰〕

循環式液体ヘリウム再液化装置を再び作動させる際には、第 1 精製器 6 A、第 2 精製器 6 B 内のヒータ、凝縮ポット 4 に付設のヒータの作動を停止し、ノーマルクローズの電磁弁 E V 2、E V 3 を閉じ排気ポンプ 8 を停止する。そして、冷凍機 5 を運転して装置を徐々に冷却したのち、精製器 6 A、6 B が動作温度にまで冷却されると循環ポンプ 7 を作動する。この作動により、デュワー 2 中のヘリウムガスが吸引され液化作業が開始される。

#### 【 0019 】

次に、上記装置内で使用する精製器の一例を説明すると、図 2 は精製器の断面図である。図 1 に示すようにコールドボックス 3 には 2 個の精製器（第 1 精製器 6 A、第 2 精製器 6 B）が配置されているが、2 個の精製器 6 A、6 B は同じ構成をしており、ここでは一方

10

20

30

40

50

側の第1精製器6A(以下精製器6とする)の構成を説明する。

精製器6は図2に示すように熱伝導性の良い銅材等で作られた円筒型をしたハウジング61を有しており、このハウジング61の外周にはヒータを取り付けるためのスペース62が形成され、そのスペース内に不図示のヒータが配置される。ハウジング61の下端は連結部材63を介して図1に示す冷凍機5の第1冷凍ステージ5Aに連結されている。このためハウジング61は略40Kに冷却された温度となっている。

#### 【0020】

ハウジング61にはデューワー2からの蒸発ヘリウムガスをハウジング61内に導入するステンレス製の導入パイプ64が挿入され、導入パイプ64は断熱材65を介して固定されている。またハウジング61および導入パイプ64は、図1に示すコールドボックス3を構成する断熱壁に適宜の断熱性支持部材を介して固定されている。ハウジング61内において、この導入パイプ64の周囲にはステンレス製の蛇腹部材66の一端側が溶接67等により固定されている。また、蛇腹部材66の他端側はハウジング61に溶接68等により固定されている。ハウジング61の上方には熱伝導性の良い材料からなる上部管69が、熱伝導性のよい材料からなる連結部材70によって取りつけられている。さらに、この上部管69の上方には流出用の管71が、熱伝導性の良い材料からなる支持部材72によって固定されている。また上部管69の内壁には、熱伝導性の良い材料からなるフィン(汚染物質固化部)73が互い違いに流路がジクザクになるように適宜数設けられている。

#### 【0021】

フィン73はフィン73を固定する固定棒75によって固定され、また固定棒75はその下端がハウジング61内に配置した保持体74によって保持されている。そして、前述したように、ハウジング61、上部管69、連結部材70、管71、支持部材72、フィン73、保持体74、固定棒75はいずれも熱伝導性のよい銅材等によって構成され、フィン73が冷凍機5と同じ略40Kに冷却される構成となっている。なお、フィン73がヘリウムガス中の汚染物質を固化できる温度(略40K)に冷却される構成であれば、フィンの支持構造は先述した構成に限定されない。

#### 【0022】

一方、前記導入パイプ64にはデューワー2で蒸発した高温のヘリウムガス(略300K)が流れるため、導入パイプは少なくとも略300Kに近い温度となっている。またハウジングは前述したように略40Kであるため、できるだけその間の熱勾配を小さくするために両者は上記したようにステンレス製の蛇腹部材66で接続されている。この蛇腹部材66は導入パイプ64の出口周囲に所定のスペースを確保しながら、出口周囲を囲むように配置されている。この結果、導入パイプ64の出口付近の周囲に大きなスペースを備えることになり、出口付近がハウジング61からの熱伝導によって略40Kにまで冷却されることを防止し、出口部に汚染物質が蓄積することを防止している。

#### 【0023】

この精製器6では略300Kの温度でハウジング内に流入した蒸発ヘリウムガスは、略40Kに冷却されているフィン73で構成されたジクザクの流路を通過する間に略40Kにまで冷却される。この冷却過程でガス内に混入している汚染物質(酸素や窒素等)がフィン73に凍りついて固化し除去され、ヘリウムガスが精製される。精製後、略40Kに冷却されたヘリウムガスは管71を介して図1に示す冷凍機5の第1冷凍ステージ5Aに供給されて略40K程度にまで冷却され、デューワー2あるいは第2冷凍ステージ5Bで、さらに略4Kまで冷却されて凝縮ポット4に供給される。

#### 【0024】

この精製器6において、フィン73に汚染物質が蓄積した場合には、その状態を後述するセンサで検知し、後述する制御器を介してハウジング61に取り付けたヒータ(図示せず)に通電し、汚染物質が気化する温度にまでハウジング61を加熱する。この結果、ハウジング61と熱伝導性のよい銅材で接続されているフィン73も加熱され、フィン73に蓄積した汚染物質が気化する。気化した汚染物質は、制御器からの指令によって流路を開いた図1に示すノーマルクローズの電磁弁EV2、EV3を介して排気ポンプ8から系外

10

20

30

40

50

に排出される。

【 0 0 2 5 】

また、精製器のヒータ加熱時には、凝縮ポット 4 に設けたヒータも作動させ、凝縮ポット 4 内の略 4 K ガスを暖めて、第 1 精製器 6 A に温まったヘリウムガスを逆流させる。こうして、第 1 精製器 6 A ( 第 2 精製器 6 B ) 内の汚染物質の気化が促進され、短時間で汚染物質を除去でき、再び、ヘリウムガス精製状態へと短時間で戻すことができる。

【 0 0 2 6 】

図 3 を参照して上記第 1 精製器 6 A、第 2 精製器 6 B ( 以下精製器 6 とする )、凝縮ポット 4 に付設したヒータの作動状態、循環ポンプ 7、排気ポンプ 8 の作動状態、さらには各弁の開閉を制御する制御ブロックの一例について、また図 4 を参照してヒータ制御の一例を説明する。

10

第 1 精製器 6 A、第 2 精製器 6 B のヒータ加熱、凝縮ポットのヒータ加熱は基本的には何れかの精製器のセンサが汚染物質を検知した場合に同時に行うことになるが、各ヒータはそれぞれ別々に作動させることも可能である。

【 0 0 2 7 】

図 3 に示すように精製器 6 には、ヒータ 8 4、温度センサ 8 5、汚染物質検知センサ 8 6 が設けられており、凝縮ポット 4 にはヒータ 8 7、温度センサ 8 8 が設けられている。ヒータ 8 4 はリレースイッチ 8 2 A を介して電源 8 3 に接続されており、またヒータ 8 7 はリレースイッチ 8 2 B を介して電源 8 3 に接続されている。リレースイッチ 8 2 A、8 2 B は制御器 8 1 からの指令によりスイッチが ON となる常開型スイッチとして構成されている。制御器 8 1 には冷凍機 5、循環ポンプ 7、排気ポンプ 8、電磁弁 E V 1 ~ E V 7、精製器 6 に設けた図示せぬ汚染物質検知センサ 8 6 ( 圧力センサあるいは流速センサあるいは精製器内に蓄積した汚染物質の厚さ等を検知するセンサ ) および前記ヒータ 8 4、8 7 の温度を検出する温度センサ 8 5、8 8 が接続されている。

20

【 0 0 2 8 】

上記制御ブロックによるヒータ制御の一例を図 4 を参照して説明する。

なお、凝縮ポットに付設のヒータ 8 7 は精製器 6 のヒータ 8 4 と同じパターンで制御されることがのぞましいが、別の態様 ( それぞれのヒータが独立して制御されるようにすること ) も可能である。

【 0 0 2 9 】

〔加熱・逆流モード〕

精製器 6 に設けた汚染物質検知センサ 8 6 が汚染物質が所定量蓄積したことを検知すると、制御器 8 1 からの指令により、冷凍機 5 の運転を停止し、リレースイッチ 8 2 A、8 2 B を ON とし、ヒータ 8 4、8 7 の加熱を開始する加熱・逆流モードに入る ( 図 4 参照 )。同時にノーマルクローズの電磁弁 E V 2、E V 3 を開き、排気ポンプ 8 を作動する。排気ポンプ 8 の作動により、精製器 6 内で気化した汚染物質は大気に放出される。そしてヒータ 8 4、8 7 への通電は、図 4 に示すようにヒータ 8 4、8 7 の温度が予め設定した温度 T 3 になるまで急激に加熱され、その後、ヒータをオン・オフしながら温度 T 3 を維持し、温度 T 3 が所定時間 ( 精製器内に固化堆積した汚染物質が全て気化するまでの時間、たとえば約 6 0 分程度 ) 維持される。

30

40

【 0 0 3 0 】

〔冷却モード〕

精製器に固着した汚染物質が全て気化し、外部放出されるとヒータの加熱が停止され、冷凍機の運転を再開する。このモードによりヒータによって暖められた循環式液体ヘリウム再液化装置全体を冷却する。このため冷却モードはできるだけ早くシステム全体を冷却する必要があることから、冷凍機の運転を再開すると略同時にノーマルクローズの電磁弁 E V 2、E V 3 を閉じ、排気ポンプ 8 の作動を停止する。そして冷凍機 5 の運転より装置を徐々に冷却したのち、循環ポンプ 7 の運転を開始する。冷凍機 5、循環ポンプ 7 の運転によりヘリウムガスが循環しはじめ装置内の温度が図 4 に示すように急激に低下するが、この温度低下により装置内のヘリウムガス体積が収縮し、装置内が負圧になり外部から装置

50

内に汚染物質が侵入してくる可能性がでてくる。このため、このような事態を回避するために、冷却モードでは、装置内が負圧にならないように、適宜電磁弁E V 5、E V 7を開いて綺麗なヘリウムガスをヘリウムガスポンベ1から少しずつ装置内に供給する。そして、装置内の温度がT 2（略40 K）にまで低下すると循環回復モードに入る。この時、デュワー2内の圧力が第1所定値以内（例えばデュワー圧が4～5 Paの間）にあるように、デュワー2内の過圧防止、負圧防止のために電磁弁E V 4、E V 5、E V 6、E V 7を制御しながら圧力制御を行う。

#### 【0031】

##### 〔循環回復モード〕

所定時間経過し冷却モードが終了すると、精製器6 A、6 Bの温度が略40 K程度にまで低下するため、再びヘリウムガスの精製が始まる。このモード中、デュワー2内の圧力が第2所定値（例えばデュワー圧が900～1200 Paの間）となるように略4 Kライン内の一定流量制御弁M F C 1、略40 Kライン内の一定流量制御弁M F C 2を制御しながらヘリウムガスを循環する（略4 Kラインの流量を徐々に増して循環させる）。また、デュワー2内の圧力制御は電磁弁E V 4、電磁弁E V 6を開閉しながら行うとともに、必要に応じてヘリウムガスをガスポンベ1からデュワー2に供給することも可能である。

10

#### 【0032】

##### 〔液面回復モード〕

循環回復モードが終了後は、デュワー2内の液体ヘリウムの液面が低下しているため、所定の液面となるように、電磁弁E V 5を開き、きれいなヘリウムガスをヘリウムガスポンベ1から略4 Kラインに供給する。この制御により、ヘリウムガスポンベ1から供給されたヘリウムガスが冷凍機5で大量に液化され、略4 Kラインの液体ヘリウム供給量を増大し、デュワー内の液面が回復する。

20

#### 【0033】

##### 〔順流モード〕

液面回復モードの後は、通常運転モードに復帰する。

なお、図4はあくまでも上記各モードの制御の一例であり、当然のことながら、装置の大小により各モードのパターンが変化したり、あるいは各弁、ヒータの作動制御態様、ヘリウムガス供給のタイミングは変化してくる。これらへの対応は装置の設計時に制御プログラムを変更するなど任意に設定できることである。また装置内の弁全てを電磁弁に代えて、制御器からの指令で全ての弁を開閉できるようにしてもよい。

30

#### 【0034】

ところで、以上述べた装置では、〔加熱・逆流モード〕、〔冷却モード〕、〔循環回復モード〕、〔液面回復モード〕、〔順流モード〕は、基本的には予め定めたプログラムに従って作動しているか、または手動による作動を採用している。しかし、予めプログラムを定めておく制御法では、最適制御法を開発するために様々な制御法を試すことが難しい等の問題がある。

このため、本発明では、不純物を気化して外部に排出するために行う、精製器ヒータ、循環ポンプ、排気ポンプ、冷凍機の入切、バルブの開閉等、多数の機器の複雑な制御手順を、スクリプト（人間が理解可能な手順書）に記述することで、自動的に実行する制御装置及び制御方法を提供する。

40

#### 【0035】

スクリプトの内容は、装置内の精製器ヒータ、循環ポンプ7、排気ポンプ8、複数の電磁弁および切替弁等を各機器の動作条件等を指定する一連の指令であり、このスクリプトに従って制御器（制御プログラム）から出力される指令により各機器が作動される。なお、装置内の弁は適宜省略、増設することが可能である。

図5において、90は制御器であり、この制御器には圧力計91、流量計92、温度計93等の計測装置が接続され、また、冷凍機94、精製器ヒータ95、循環、排出等のポンプ96、電磁弁97、切替弁（不図示）等の作動機器が接続され、さらに必要に応じて状態記録ファイル98が接続されている。そして制御器には制御器を作動するスクリプトフ

50



ファイル 99 が接続され、これらによって循環式液体ヘリウム再液化装置の制御装置が構成されている。

【0036】

スクリプトファイル 99 は人間が理解可能な形で書かれた制御器の制御条件を記した電子ファイル（手順書）であり、その内容は人により自由に書き換えることが可能であり、そのファイル内の命令を読み込むことで、制御器（コンピュータ等の計算機）はその手順にしたがって作動器を自動的に作動させることができるようになっている。

【0037】

スクリプトの内容は、制御の手順に従った各機器の動作条件等を指定する一連の命令で、制御は命令を順番に処理することで行われる。命令には、設定した条件で 1 回だけ実行する命令と、条件が取り消されるまでの間、条件を満たした時に何度でも実行する命令がある。2 番目の種類の命令は、複数の機器に対して、同時に独立した動作条件を与えることができるため、1 つのスクリプトで複数の機器を別々の条件で同時並列に制御することができる。さらに、1 つの機器に対して複数の動作条件を設定できるため、複雑な動作条件にも対応できる。スクリプトは制御プログラムとは独立しており、これを書き換えるのみで、容易に、様々な制御法を検討することが可能である。

10

【0038】

スクリプトを実行するプログラムは、スクリプトを読み込み、実行する機能と、温度計 93、圧力計 91、流量計 92 等の計測装置による計測値および、制御を行う各機器の状態を取得、記録する機能を持つ。計測値および各機器の状態は、1 秒以下の非常に短い時間間隔で常に取得されており、取得された値は装置の種類に応じた適当な形式でコンピュータの画面上に表示される。また、スクリプトの実行中は、同じ時間間隔で、制御を行う全ての機器に対して、動作条件の適合、不適合が判断され、全ての機器の制御が同時に行われる。

20

【0039】

ここでスクリプトの内容を簡単に説明する。本例は先述した閉塞解除 - 順流について説明する。

図 6 において、最上段の行の指令は、命令を示すキーワード（`output`）と、命令の詳細を示す複数の数字の組み合わせで表されている。この命令では、制御対象への出力命令である `output` に続き、数字の組み合わせにより、出力対象および出力内容を指定しており、内部循環 OFF の指令を表している。また、必要に応じて、行の右側に文字に続く形で、注釈を記述することが可能である。以下同様に、全ての指令は命令を示すキーワードと、その詳細を示す複数の数字の行で表現される。

30

このようにスクリプトファイルは人間が理解可能な形で書かれた制御器の制御条件を記した電子ファイル（手順書）であり、その内容は人により自由に書き換えることが可能であり、そのファイル内の命令を読み込むことで、制御器（コンピュータ等の計算機）はその手順にしたがって作動器を自動的に作動させることができる。

【0040】

このため、装置を制御するに当たって、作業者はまず〔加熱・逆流モード〕に対応して排気ポンプのオン・オフ、冷凍機のオン・オフ、電磁弁のオン・オフなど必要な動作に対応して、キーワードと複数の数字の組み合わせからなるスクリプトファイルを作成する。このスクリプトファイルは、必要な作動をキーワードと数字の組み合わせからなる命令として記載するだけでだれでも比較的簡単に作成できるため、装置の作動順序を簡単に変更することが可能となる。

40

上記のようにして循環式液体ヘリウム再液化装置の制御モード〔加熱・逆流モード〕、〔冷却モード〕、〔循環回復モード〕、〔液面回復モード〕、〔順流モード〕を連続して実行するスクリプトファイルを設定し、このスクリプトファイルを制御器に読み込ませる。

【0041】

制御器ではスクリプトを実行し、冷凍機、精製器ヒータ、循環ポンプ、排気ポンプ、電磁弁、切替弁のオン・オフを実行し、精製器に固化した汚染物質を装置外に排出し、循環式

50

液体ヘリウム再液化装置の稼働を行う。

さらに、制御に関する情報は、指定した時間間隔で自動的に状態記録ファイル 98 に記録される。状態記録ファイル 98 への記録は、機器の状態が変化したときも行われる。記録されたファイルは、プログラムの実行中でも外部より参照することができ、制御プログラムを停止させずに、制御状態を知ることができる。

#### 【0042】

上記制御器内での制御フローを図 7 を参照して説明する。

プログラムがスタートすると、ステップ 1 で制御器、計測器の初期化を行う。

ステップ 2 で、制御器はスクリプトファイル中の第 1 行を読み込む。ステップ 3 で読み込み命令の有無を判断し、命令が有る場合にはステップ 4 で待機命令の有無、ステップ 5 で命令実行の有無を判断し、ステップ 4、5 で命令が無い場合にはステップ 6 で動作条件を設定する。次いでステップ 7 で計測値（計測データ）を読み込み、ステップ 8 で動作条件を確認し、実行する。さらにステップ 9 でログ出力条件成立の有無を判断し、無い時はステップ 10 で待機命令の有無を判断し、有りの時はステップ 11 で待機終了条件成立の有無を判断する。ステップ 11 で条件成立が無い時はステップ 12 に進み単位時間待機し、その後ステップ 7 に戻る。また、それぞれの判断の中で前述した説明とは逆の判断の場合には図のフローに従って再び命令を実行する。またステップ 3 で読み込み命令が無い時にはプログラムが終了する。

10

#### 【0043】

以上のように本制御装置によれば、人間がスクリプトファイルを変更するだけで、装置全体の制御を簡単に変更することができ、複雑な操作を自動的に実行して最適制御を実現できる。

20

#### 【0044】

以上、本発明に係る実施形態（精製器内に固化した汚染物質を気化して系外に排出する例）について説明したが、本発明は精製器内に固化した汚染物質を液化して系外に排出する場合にも適用できることは当然である。また、液体ヘリウムの回路等は上記実施形態に限定されることなく必要に応じて自由に変更することも可能である。各制御モードも、設計時において自由に設定することが可能である。また、弁の数、冷凍機の数等は上記例に限定されることなく、必要に応じて増減することができる。

さらに、本発明はその精神または主要な特徴から逸脱することなく、他のいかなる形でも実施できる。そのため、前述の実施形態はあらゆる点で単なる例示にすぎず限定的に解釈してはならない。

30

#### 【0045】

##### 【発明の効果】

以上説明したように、本発明によれば、精製器を加熱することにより精製器に蓄積された汚染物質を気化あるいは液化して系外に放出することにより、循環式液体ヘリウム再液化装置の長期間の連続運転を可能としており、特に、精製器内部に凝固した不純物を気体にして、確実に精製器外部に排出することを保障するためのヒータ、ポンプ、冷凍機、バルブなど、複雑な操作を自動的に実行して最適制御法を得ることができる。またスクリプト（人間に理解可能な手順書）を変えるだけで、様々な制御法を試すことが可能であり、制御動作が適当な時間間隔で記録される。かつその結果が様々な形式で表示可能であり、表示装置上で容易に確認可能となる。

40

スクリプトの内容は、制御の手順に従った各機器の動作条件等を指定する一連の命令で、制御は命令を順番に処理することで行われる。命令には、設定した条件で 1 回だけ実行する命令と、条件が取り消されるまでの間、条件を満たした時に何度でも実行する命令がある。2 番目の種類の命令は、複数の機器に対して、同時に独立した動作条件を与えることができるため、1 つのスクリプトで複数の機器を別々の条件で同時並列に制御することができる。さらに、1 つの機器に対して複数の動作条件を設定できるため、複雑な動作条件にも対応できる。スクリプトは制御プログラムとは独立しており、これを書き換えるのみで、容易に、様々な制御法を検討することが可能である。

50

スクリプトを実行するプログラムは、スクリプトを読み込み、実行する機能と、温度計、圧力計、流量計等の計測装置による計測値および、制御を行う各機器の状態を取得、記録する機能を持つ。計測値および各機器の状態は、1秒以下の非常に短い時間間隔で常に取り得られており、取得された値は装置の種類に応じた適当な形式でコンピュータの画面上に表示される。また、スクリプトの実行中は、同じ時間間隔で、制御を行う全ての機器に対して、動作条件の適合、不適合が判断され、全ての機器の制御が同時に行われる。

さらに、制御に関する情報は、指定した時間間隔で自動的にファイルに記録される。ファイルへの記録は、機器の状態が変化したときも行われる。記録されたファイルは、プログラムの実行中でも外部より参照することができ、制御プログラムを停止させずに、制御状態を知ることができる。

10

、等の優れた効果を奏することができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明に係る循環式液体ヘリウム再液化装置の構成図である。

【図2】同装置内で使用する精製器の構成図である。

【図3】精製器に設けたヒータの制御ブロック図である。

【図4】ヒータの加熱およびパージの状態を説明する図である。

【図5】本発明に係る循環式液体ヘリウム再液化装置を制御するための制御装置の構成図である。

【図6】スクリプトファイルの内容を説明する図である。

【図7】制御器内での制御フロー図である。

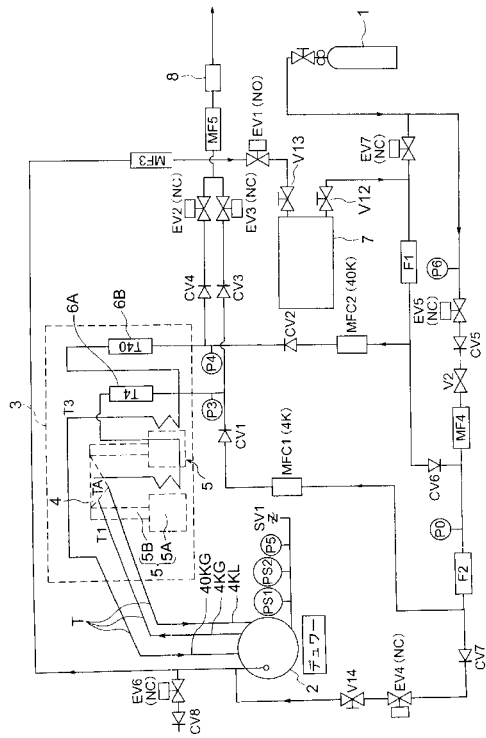
20

【符号の説明】

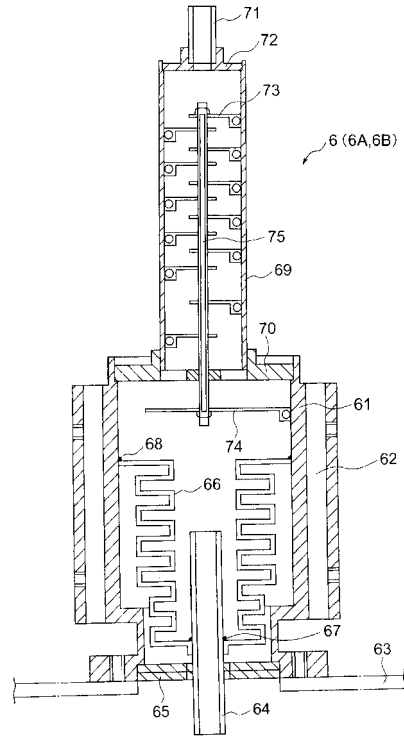
1	ヘリウムガスポンプ	
2	液体ヘリウム貯留槽（デュワー）	
3	コールドボックス	
4	凝縮ポット	
5	冷凍機	
5 A	第1冷凍ステージ	
5 B	第2冷凍ステージ	
6 A	第1精製器	
6 B	第2精製器	30
7	循環ポンプ	
8	排気ポンプ	
PS 1、PS 2、P 0、P 3 ~ P 6	圧力計	
V 1 2	循環ポンプの流出弁	
V 1 3	循環ポンプの流入弁	
V 2、V 1 4	切替弁	
CV 1 ~ CV 8	チャッキ弁	
MFC 1	略4 Kライン内の一定流量制御弁	
MFC 2	略40 Kライン内の一定流量制御弁	
MF 3 ~ MF 5	質量流量計	40
EV (NO)	ノーマルオープンの電磁弁	
EV (NC)	ノーマルクローズの電磁弁	
F 1、F 2	フィルター	
SV 1 ~ SV 3	安全弁	
6 1	ハウジング	
6 2	スペース	
6 3	連結部材	
6 4	導入パイプ	
6 5	断熱材	
6 6	蛇腹部材	50

67、68	溶接	
69	上部管	
70	連結部材	
71	流出用管	
72	支持部材	
73	フィン	
74	保持体	
75	固定棒	
81	制御器	
82 A、82 B	リレースイッチ	10
83	電源	
84	ヒータ	
85	温度センサ	
86	汚染物質検知センサ	
87	凝縮ポット用のヒータ	
88	温度センサ	
90	制御器	
91	圧力計	
92	流量計	
93	温度計	20
94	冷凍機	
95	精製器	
96	循環、排出等のポンプ	
97	電磁弁	
98	状態記録ファイル	
99	スクリプトファイル	

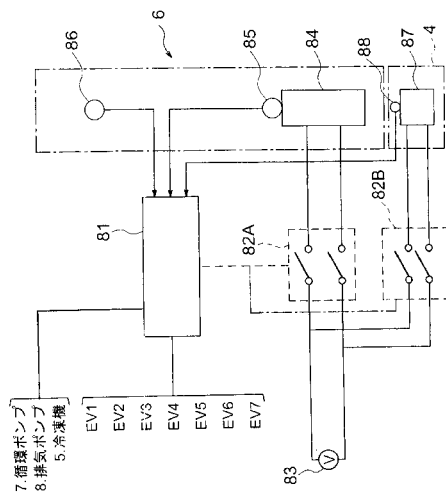
【 図 1 】



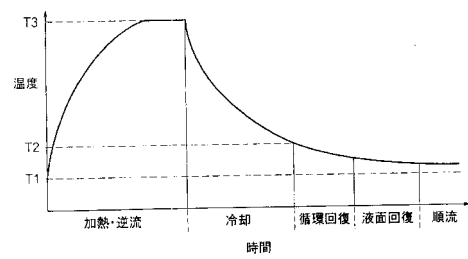
【 図 2 】



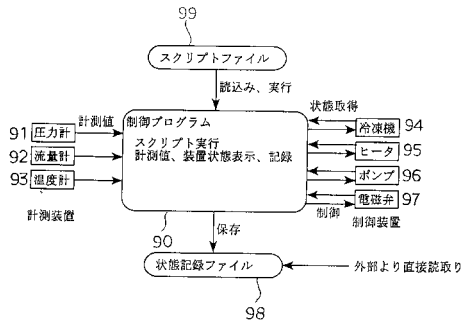
【 図 3 】



【 図 4 】



【 図 5 】



【 図 6 】

```

#設置解除一環戻
#
#経過(SFS)
output 1, 1,1,0,0,0,1,0 #経過計行定戻
output 2, 0,0,0,1,1,0,1,0 #経過計行定戻,設定ポンプOn
wait 5,0 #5分後ヒータOn
output 2, 0,0,0,0,0,1,1,0 #経過計行定戻
onadover 8, 3,0, 1,3,1 #過圧回避 デュワー圧 3KPa>Open / 4KPa<Close
onadunder 8, 3,0, 1,4,1 #過圧回避 デュワー圧 3KPa>Open / 4KPa<Close
onadover 8, 4,0, 1,3,0 #過圧回避 デュワー圧 5KPa<Close / 6KPa>Open
onadunder 8, 4,0, 1,4,0 #過圧回避 デュワー圧 5KPa<Close / 6KPa>Open
onadover 8, 5,0, 1,5,0 #過圧回避 デュワー圧 5KPa<Close / 6KPa>Open
onadunder 8, 6,0, 1,5,1 #過圧回避 デュワー圧 5KPa<Close / 6KPa>Open
#A1過圧回避AL2を100%確認
!line 0, 4,0,240,0 #A100%まで加温
wait 700,0 #700分保温

#冷却(RGS)
output 2, 0,0,1,0,0,0,0,0 #冷却機On,ヒータOff,継ぎポンプOff
output 1, 1,1,0,0,0,0,1,0 #冷却機On,ヒータOff,継ぎポンプOff
onadunder 8, 3,0, 1,3,1 #過圧回避 デュワー圧 3KPa>Open / 4KPa<Close
onadover 8, 3,0, 1,4,1 #過圧回避 デュワー圧 3KPa>Open / 4KPa<Close
onadover 8, 4,0, 1,3,0 #過圧回避 デュワー圧 5KPa<Close / 6KPa>Open
onadunder 8, 4,0, 1,4,0 #過圧回避 デュワー圧 5KPa<Close / 6KPa>Open
onadover 8, 6,0, 1,5,1 #過圧回避 デュワー圧 5KPa<Close / 6KPa>Open
output 1, 0,0,1,0,0,0,0,0 #冷却機On,ヒータOff,継ぎポンプOff
output 2, 0,0,1,0,0,0,0,0 #継ぎポンプIn,Close
#AL4を使う場合(A4機器設置時AL4 40%確認)
!line 0, 2,1, 180,0 #継ぎポンプ40%以下まで待機

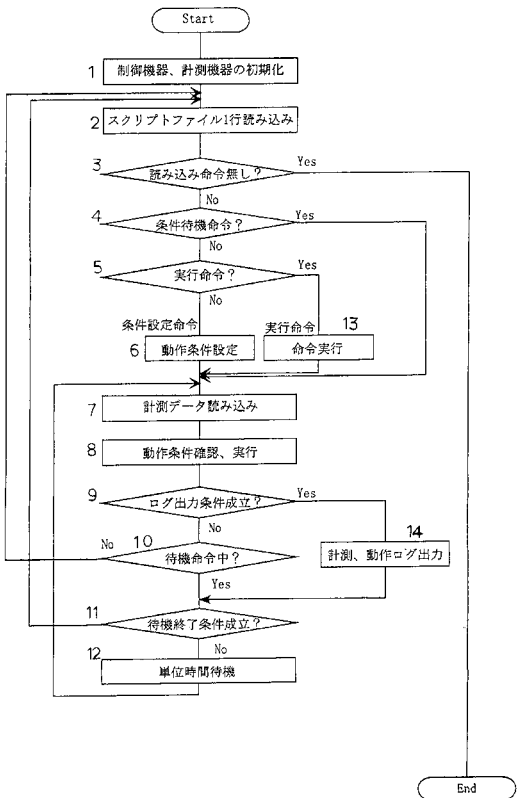
#凍結回避(LRS)
output 1, 0,0,0,0,0,0,1,1 #ここからはじめる場合必要
output 2, 1,1,1,0,0,0,0,0 #ヒータOff,継ぎポンプOff
onadover 8,3,5, 1,5,1 #過圧回避
onadunder 8,1,5, 1,5,0 #過圧回避
onadover 8,1,5, 1,3,0 #過圧回避
onadover 8,1,3, 1,4,0 #過圧回避
onadover 8,1,2, 1,5,1 #過圧回避
onadunder 8,0,9, 1,6,0 #過圧回避
onadunder 8,0,1, 1,3,1 #過圧回避
onadunder 8,0,1, 1,4,1 #過圧回避
wait 180,0 #凍結回避150分間

#凍結回避(LRS)
output 1, 0,0,0,1,1,0,1,1 #ここからはじめる場合必要
output 2, 0,0,1,0,0,0,0,0 #ヒータOff,継ぎポンプOff
onadover 8,3,5, 1,5,1 #過圧回避
onadunder 8,1,5, 1,5,0 #過圧回避
onadover 8,1,5, 2,0,0 #過圧回避
onadover 8,1,5, 1,3,0 #過圧回避
onadover 8,1,5, 1,4,0 #過圧回避
onadover 8,1,2, 1,6,1 #過圧回避
onadunder 8,1,2, 2,0,1 #過圧回避
onadunder 8,1,2, 1,4,1 #過圧回避
onadunder 8,0,9, 1,6,0 #過圧回避
onadunder 8,0,1, 1,3,1 #過圧回避
wait 4320,0 #凍結回避3時間

#経過(SFS)
output 0, 0,0,0,0,0,0,1,1 #4K 0 分
output 1, 0,1,0,0,0,0,0,0 #40K 3分
onadover 8,2,5, 1,5,1 #0分:デュワー圧>2.5KPa
onadunder 8,1,5, 1,5,0 #0分:デュワー圧<1.5KPa
onadover 8,1,5, 1,3,0 #0分:デュワー圧>1.5KPa
onadover 8,1,5, 1,4,0 #0分:デュワー圧<1.5KPa
onadover 8,1,5, 1,6,1 #0分:デュワー圧<100Pa
onadunder 8,0,1, 1,4,1 #0分:デュワー圧<100Pa
onadunder 8,0,1, 1,5,0 #0分:デュワー圧<50Pa
onadunder 8,0,1, 2,0,1 #0分:デュワー圧<50Pa
onadunder 8,0,0,5, 1,3,1 #20分間隔
end

```

【 図 7 】



---

フロントページの続き

- (56)参考文献 特開平03 - 199881 (JP, A)  
特開平03 - 199882 (JP, A)  
特開2000 - 105072 (JP, A)

- (58)調査した分野(Int.Cl.<sup>7</sup>, DB名)  
F25J 1/00-5/00