

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第3865679号
(P3865679)

(45) 発行日 平成19年1月10日(2007. 1. 10)

(24) 登録日 平成18年10月13日(2006. 10. 13)

(51) Int. Cl.

F 2 5 B 9/14 (2006.01)

F I

F 2 5 B 9/14 5 2 0 F

請求項の数 1 (全 17 頁)

(21) 出願番号	特願2002-293191 (P2002-293191)	(73) 特許権者	000005049
(22) 出願日	平成14年10月7日(2002. 10. 7)		シャープ株式会社
(65) 公開番号	特開2003-314919 (P2003-314919A)		大阪府大阪市阿倍野区長池町22番22号
(43) 公開日	平成15年11月6日(2003. 11. 6)	(74) 代理人	100085501
審査請求日	平成17年5月11日(2005. 5. 11)		弁理士 佐野 静夫
(31) 優先権主張番号	特願2002-1731 (P2002-1731)	(74) 代理人	100111811
(32) 優先日	平成14年1月8日(2002. 1. 8)		弁理士 山田 茂樹
(33) 優先権主張国	日本国(JP)	(74) 代理人	100121256
(31) 優先権主張番号	特願2002-47570 (P2002-47570)		弁理士 小寺 淳一
(32) 優先日	平成14年2月25日(2002. 2. 25)	(72) 発明者	村上 治彦
(33) 優先権主張国	日本国(JP)		大阪府大阪市阿倍野区長池町22番22号
			シャープ株式会社内
		(72) 発明者	細野 俊昭
			大阪府大阪市阿倍野区長池町22番22号
			シャープ株式会社内

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 スターリング冷凍機

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

作動ガスを封入したシリンダ内を往復運動するピストン及びディスプレイサと、前記ピストンを移動させるリニアモータとを具備してなるフリーピストン型のスターリング冷凍機において、

スターリング冷凍機の運転状況に対応したピストンの目標ストロークを動作テーブルとして記憶し、該動作テーブルに基づいて前記リニアモータを駆動制御する制御手段を備え、前記動作テーブルは、スターリング冷凍機の起動開始からの経過時間を変数とする1次元テーブルであることを特徴とするスターリング冷凍機。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】

本発明は、フリーピストン型スターリング機関を用いたスターリング冷凍機に関し、特にスターリング冷凍機の制御に関するものである。

【0002】

【従来の技術】

冷凍機は一般に冷媒の凝縮及び蒸発を利用した蒸気圧縮式の冷凍サイクルが採用されている。しかし、蒸気圧縮式の冷凍サイクルの冷媒として用いられるフロンは、オゾン層破壊による環境への悪影響が指摘され、近年、使用及び生産が規制されてきている。

【0003】

このため、フロンを用いた冷凍サイクルに替えて、逆スターリング冷凍サイクルによるスターリング機関を用いたスターリング冷凍機が提案されている。逆スターリング冷凍サイクルは作動媒体としてヘリウムガス、水素ガス、窒素ガス等の自然媒体を使用するため、環境への悪影響を防止することができる。

【0004】

スターリング冷凍機は、圧縮空間を介してピストンとディスプレイサとが軸方向に並設され、圧縮空間と再生器を介して連通する膨張空間がディスプレイサの先端に設けられている。ピストンとディスプレイサとが所定の位相差で往復運動することにより、作動媒体が圧縮空間で圧縮されるとともに膨張空間で膨張して膨張空間側を低温にできるようになっている。

10

【0005】

ピストンは一般にリニアモータにより駆動される。リニアモータの駆動電圧を増減してピストンのストロークを可変することによって冷凍能力をコントロールすることができる。即ち、リニアモータの駆動電圧を小さくすると、ピストンのストロークが短くなるため冷凍能力が低下する。リニアモータの駆動電圧を大きくすると、ピストンのストロークが長くなり冷凍能力が向上する。

【0006】

このような関係を利用して、従来、ピストンとディスプレイサの駆動用のリニアモータを1台ずつ備え、ピストンとディスプレイサの各変位を測定してそれぞれの中立位置を一定に維持するように、リニアモータへの入力電流を制御していた（例えば、特許文献1参照）。

20

【0007】

また、駆動コイルへの入力電力に基づいてピストンのストロークを導出し、このストロークに基づいて入力電力をオフセットすることによりピストンの上死点を一定に保ち、圧縮空間の死容積を一定に維持する技術も知られていた（例えば、特許文献2参照）。

【0008】

【特許文献1】

特開平2-217757号公報

【特許文献2】

特開平11-304270号公報

30

【0009】

【発明が解決しようとする課題】

しかしながら、上記の従来のスターリング冷凍機によると、運転開始時の低温側の温度が常温に近い状態では、内部ガス圧が定常運転状態に至っていないので、この時に定常状態の駆動電圧をリニアモータに印加すると、ピストンとディスプレイサとの位相がずれて両者が衝突する危険があった。また、冷却負荷が変化してピストンとディスプレイサとの位相がずれたり、冷凍能力を最大に引き出しているときに外部要因（スターリング冷凍機の電源電圧や雰囲気温度）が変化したりしたとき、あるいはスターリング冷凍機の内部要因（組立て誤差や部品精度等の個体差）があるときにも衝突する危険があった。この衝突する危険を回避するために、リニアモータの駆動電圧は理想駆動電圧よりも低く設定せざるを得ず、スターリング冷凍機の冷凍能力を最大限に引き出せないという課題があった。

40

【0010】

本発明は、冷凍能力を向上させたスターリング冷凍機を提供することを目的とする。

【0011】

【課題を解決するための手段】

上記目的を達成するために本発明は、作動ガスを封入したシリンダ内を往復運動するピストン及びディスプレイサと、前記ピストンを移動させるリニアモータとを具備してなるフリーピストン型のスターリング冷凍機において、スターリング冷凍機の運転状況に対応したピストンの目標ストロークを動作テーブルとして記憶し、該動作テーブルに基づいて前記リニアモータを駆動制御する制御手段を備え、前記動作テーブルは、スターリング冷

50

凍機の起動開始からの経過時間を変数とする１次元テーブルであることを特徴としている。

【００１４】

この構成によると、リニアモータを駆動するとピストンとディスプレイサとが所定の位相差で往復運動して作動媒体を圧縮及び膨張して冷凍サイクルが運転される。制御手段は、スターリング冷凍機の運転状況に対応したピストンの目標ストロークを動作テーブルとして記憶しており、該動作テーブルに基づいてピストンのストロークを目標ストロークに設定する。

【００２４】

【発明の実施の形態】

以下に本発明の実施形態を図面を参照して説明する。図１は第１実施形態のスターリング冷凍機を示す断面図である。スターリング冷凍機４０は、軸方向に分割された略円筒形状のシリンダ３内に、円柱形のピストン１及びディスプレイサ２が内嵌されている。ピストン１とディスプレイサ２とは圧縮空間９（以下、「ウォームセクション」という場合がある）を介して同軸に配置されている。

【００２５】

シリンダ３の先端にはディスプレイサ２との間に膨張空間１０（以下、「コールドセクション」という場合がある）が形成されている。圧縮空間９と膨張空間１０とはヘリウム等の作動媒体が流通する媒体流通路１１により連通している。媒体流通路１１内には、作動媒体の熱を蓄積するとともに蓄積した熱を作動媒体に供給する再生器１２が配されている。シリンダ３の略中間には鏝部３ａが突設されている。鏝部３ａにはドーム状の耐圧容器４が取り付けられ、内部を密閉してバウンス空間８が形成されている。

【００２６】

ピストン１は後端でピストン支持バネ５と一体化され、ディスプレイサ２はピストン２の中心孔１ａを貫通するロッド２ａを介してディスプレイサ支持バネ６と一体化されている。ピストン支持バネ５とディスプレイサ支持バネ６とはボルト２２により連結されている。後述するように、ピストン１が往復運動するとディスプレイサ２はその慣性力によってピストン２に対して所定の位相差を有して往復運動を行うようになっている。

【００２７】

バウンス空間８内のシリンダ３には内側ヨーク１８が外嵌されている。内側ヨーク１８には隙間１９を介して外側ヨーク１７が対峙している。外側ヨーク１７には駆動用コイル１６が内装され、隙間１９には環状の永久磁石１５が移動可能に配されている。永久磁石１５はカップ状のスリーブ１４を介してピストン１と一体化されている。これにより、駆動用コイル１６に電圧を印加することによってピストン１を軸方向に移動させるリニアモータ１３が構成されている。

【００２８】

駆動用コイル１６には、リード線２０、２１が接続されている。リード線２０、２１は、耐圧容器４の壁面をハーメチックシール端子３７（図２参照）を介して貫通し、制御ボックス３０に接続されている。制御ボックス３０によってリニアモータ１３の駆動電源が供給されるようになっている。

【００２９】

上記構成のスターリング冷凍機４０は、リニアモータ１３によってピストン１が往復運動すると、ディスプレイサ２の慣性力によってピストン１に対して所定の位相差でディスプレイサ２が往復運動する。これにより、圧縮空間９と膨張空間１０との間を作動媒体が移動して逆スターリングサイクルが構成される。即ち、作動媒体が圧縮されることによって高温側となる圧縮空間９で発生した熱は媒体流通路１１を介して大気中へ放出され、更に作動媒体は再生器１２に熱を蓄積して膨張空間１０へ移動する。

【００３０】

再生器１２により冷却された作動媒体は低温側となる膨張空間１０で膨張されることによって更に冷える。そして、作動媒体が媒体流通路１１を通じて圧縮空間９へ移動する際に

10

20

30

40

50

再生器１２に蓄えられた熱によって加熱される。この動作を繰り返して膨張空間１０（コールドセクション）の冷凍が行われるようになっている。

【００３１】

図２は、制御ボックス３０とスターリング冷凍機４０との接続状態を示す図である。スターリング冷凍機４０には膨張空間１０、圧縮空間９、バウンス空間８の温度 T_c 、 T_h 、 T_b をそれぞれ検知する温度センサ３４、３５、３６が取り付けられている。

【００３２】

制御ボックス３０には温度センサ３４、３５、３６の出力をそれぞれＡ／Ｄ変換する T_c Ａ／Ｄ変換部１０８、 T_h Ａ／Ｄ変換部１０９、 T_b Ａ／Ｄ変換部１１０が設けられている。また、リード線２０、２１を介してハーメチックシール端子３７にはリニアモータ駆動用電圧出力部１０１が接続されている。リニアモータ駆動用電圧出力部１０１は、リニアモータ１３の駆動電圧を出力する。

10

【００３３】

図３は、制御ボックス３０の更に詳細を示すブロック図である。制御ボックス３０には、各種演算等を行うマイクロコンピュータ１０４が設けられる。マイクロコンピュータ１０４には、制御ボックス３０の各部に電源を供給する電源部１０５が接続されている。

【００３４】

また、マイクロコンピュータ１０４には、電源部１０５の入力電圧を検出する電圧センサー（不図示）の検出値をＡ／Ｄ変換して入力する電圧値入力部１０２及びリニアモータ１３の消費電流を検出する電流センサ３３の検出値をＡ／Ｄ変換して入力する電流値入力部１０３が接続されている。更に、制御ボックス３０をリセットするリセット部１０６、PWMインバータ波形を生成する発振部１０７、書換可能な不揮発性記憶素子（EEPROM）から成ってデータを記憶する記憶部１１１がマイクロコンピュータ１０４に接続されている。

20

【００３５】

後述するように、電圧値入力部１０２からの入力に応じてマイクロコンピュータ１０４から電源部１０５に制御信号が送信される。これにより、電源部１０５の出力電圧が制御される。また、リニアモータ駆動用電圧出力部１０１は、マイクロコンピュータ１０４の制御によって電源部１０５の出力電圧をPWMインバータ波形に変換してリニアモータ１３に供給するようになっている。

30

【００３６】

図４は、マイクロコンピュータ１０４の内部構成を示すブロック図である。マイクロコンピュータ１０４内には、制御プログラムが記憶された読出し専用のROM１２１、演算の一時記憶を行うRAM１２２、運転時間等を計時するタイマー１２３、入出力用のＩ／Ｏポート１２５がCPU１２４に接続される。CPU１２４がROM１２１から読出した制御プログラムを実行することによりスターリング冷凍機４０の制御が行われる。

【００３７】

リニアモータ１３の駆動を制御する方法として、リニアモータ１３の駆動電圧を検知して目標ストロークに対応した駆動電圧に制御するステップ制御と、ピストン１のストロークを検知して所望のストロークに制御するストローク制御とが考えられる。

40

【００３８】

ステップ制御は、電圧値入力部１０２から入力された電圧値および電流値入力部１０３から入力された電流値に基づいて算出された、駆動中のリニアモータ１３の駆動電圧と、ピストン１の目標ストロークに対応した駆動電圧とをマイクロコンピュータ１０４により比較して、リニアモータ駆動用電圧出力部１０１から出力される駆動電圧をステップ状に調整して行われる。

【００３９】

ストローク制御は、マイクロコンピュータ１０４により駆動中のリニアモータ１３の駆動電圧、消費電流、インダクタンス、抵抗成分から演算することによりピストン１のストロークを検出し、記憶部１１１（図３参照）に記憶された目標ストロークと比較して、リニ

50

アモータ駆動用電圧出力部 101 から出力される駆動電圧を目標ストロークに対応した駆動電圧に調整して行われる。

【0040】

ピストン 1 のストロークの検出方法を説明するため、図 5 にリニアモータ 13 の等価回路を示す。リニアモータ駆動用電圧出力部 101 から駆動電圧 V_t が与えられると、リニアモータ 13 には電流 I が流れ、抵抗成分 R 及びインダクタンス L により電圧降下が生じて逆起電力 V_g が発生する。

【0041】

電流 I は駆動電圧 V_t に対して位相のずれがあるため、位相差を θ とすると、図 6 のベクトル図に示すように、抵抗成分 R 及びインダクタンス L による電圧降下はそれぞれ $R I \cos \theta$ 、 $L \sin \theta \cdot dI/dt$ となる。従って、逆起電力 V_g は下記の式 (1) で表される。また、逆起電力 V_g はストローク X_p の関数になるため、下記の式 (2) によっても表される。

【0042】

$$V_g = V_t - R I \cos \theta - L \sin \theta \cdot dI/dt \quad \dots (1)$$

$$V_g = f(X_p) \quad \dots (2)$$

【0043】

図 7 は駆動電圧 V_t と電流 I の出力波形を示す図である。位相差 θ は以下のように求めることができる。即ち、駆動電圧 V_t の電圧のピーク位置（位相角 90° ）を位置 A として、位置 A から所定角度、例えば 10° 、 20° 遅れた位置を位置 B（位相角 100° ）、位置 C（位相角 110° ）とする。また、位置 A、B、C の時の電流 I をそれぞれ I_A 、 I_B 、 I_C とすると、位相差 θ は以下になる。

【0044】

$I_A \geq I_B > I_C$ の時、 $\theta \leq 5^\circ$

$I_B > I_A \geq I_C$ の時、 $5^\circ < \theta \leq 10^\circ$

$I_B \geq I_C > I_A$ の時、 $10^\circ < \theta \leq 15^\circ$

$I_C > I_B > I_A$ の時、 $\theta > 15^\circ$

【0045】

上記のように、位置 A、B、C の遅れ角度を 10° にすると 5° の分解能で位相差 θ を判定することが可能となる。遅れ角度をより小さくすれば分解能を高くすることができるとともに、測定ポイント数を増加させるとより広範囲の位相差を測定することが可能となる。

【0046】

上記式 (1)、(2) において、 L 、 R は既知であり、 V_t 、 I はそれぞれ電圧値入力部 102 及び電流値入力部 103 から与えられることにより位相差 θ が求められるので、マイクロコンピュータ 104 によりストローク X_p を演算することができる。

【0047】

また、位相差 $\theta = 0$ の時、上記式 (1) は下記の式 (3) のように近似することができる。従って、スターリング冷凍機 40 の負荷が軽い場合は位相差 $\theta = 0$ となるため、式 (3) を用いてストローク X_p を求めてもよい。

【0048】

$$V_g = V_t - R I \quad \dots (3)$$

【0049】

しかし、スターリング冷凍機 40 の負荷が大きくなると位相差 θ は大きくなるため、位相差 θ の影響を完全に無視することはできない。そこで、上記の式 (3) において、抵抗成分 R にスターリング冷凍機 40 の負荷を考慮することが望ましい。スターリング冷凍機 40 の負荷は、スターリング冷凍機 40 の高温側の温度と低温側の温度との関数により表わすことができる。

【0050】

高温側の温度として、ウォームセクション 9 の温度 T_h またはバウンス空間 8 の温度 T_b

10

20

30

40

50

を用いる。低温側の温度として、コールドセクション10の温度 T_c を用いる。従って、上記の式(3)に替えて下記の式(4)または式(5)を用いることができる。そして、マイクロコンピュータ104は、式(4)または式(5)と式(2)との関係からピストン1のストローク X_p を求めることができる。

【0051】

$$V_g = V_t - R(T_h, T_c)I \quad \dots (4)$$

$$V_g = V_t - R(T_b, T_c)I \quad \dots (5)$$

【0052】

記憶部111(図3参照)にはスターリング冷凍機40の運転状況に応じたピストン1の目標ストロークが記憶されている。表1は、記憶部111に記憶された目標ストロークの

10

【0053】

【表1】

$T_c \backslash T_h, T_b$	~30°C	30°C~40°C	40°C~50°C	50°C~60°C
10°C~20°C	5.9mm	5.7mm	5.5mm	5.3mm
0°C~10°C	6.0mm	5.8mm	5.6mm	5.4mm
-10°C~0°C	6.2mm	6.0mm	5.8mm	5.6mm
-20°C~-10°C	6.4mm	6.2mm	6.0mm	5.8mm
-30°C~-20°C	6.5mm	6.3mm	6.2mm	5.9mm

20

【0054】

同表によると、目標ストロークはスターリング冷凍機40の低温側の温度及び高温側の温度の2次元(マトリックス)テーブルになっており、これらの温度帯に応じて異なる値になっている。

【0055】

コールドセクション10の温度 T_c は、10°C~20°C、0°C~10°C、-10°C~0°C、-20°C~-10°C、-30°C~-20°C、の5つの範囲に区分けされている。ウォームセクション9の温度 T_h またはバウンス空間8の温度 T_b は、~30°C、30°C~40°C、40°C~50°C、50°C~60°C、の4つの範囲に区分けされている。これらの温度

30

【0056】

図8は、この温度を変数とする目標ストロークのテーブルを参照するプログラムのフローチャートである。まず、ウォームセクション温度 T_h を T_h 温度センサ35・ T_hA/D 変換部109で検知・デジタル変換して測定する(ステップ#51)。その温度が、60°C未満30°C以上の範囲にあるか確認する(ステップ#52, 53)。60°C以上の場合は59°Cに、30°C以下の場合は29°Cに整える(ステップ#54, 55)。その値を10で割って小数点以下を切り捨てて整数化し、さらにその値から2を引いて、 FT_h を求める(ステップ#56)。

【0057】

次に、 T_c の温度を T_c 温度センサ34・ T_hA/D 変換部108で検知・デジタル変換して測定し、30を加える(ステップ#57)。その温度が、50°C未満0°C以上の範囲にあるか確認する(ステップ#58, 59)。50°C以上の場合は49°Cに、0°C以下の場合は0°Cに整える(ステップ#61)。その値を10で割って小数点以下を切り捨てて整数化し、 FT_c を求める(ステップ#62)。ROM上のテーブルが存在する先頭アドレス T_A/D に4(4- FT_c)と FT_h とを加えて、ターゲットアドレスを算出する(ステップ#63)。そのアドレスのデータを A_c として取り込み(ステップ#64)、目標ストロークとする(ステップ#65)。

40

【0058】

なお、ウォームセクション温度 T_h のかわりに、バウンス空間の温度 T_b を用いても同様

50

の効果が得られる。

【0059】

スターリング冷凍機40は低温側の温度が低いほど作動媒体のガス圧が安定して駆動されており、同様に高温側の温度が高いほど作動媒体のガス圧が安定して駆動されている。従って、起動直後等の作動媒体のガス圧が不安定なときはリニアモータ13によりピストン1が小さいストロークで駆動される。これにより、ピストン1とディスプレイサ2との衝突が低減される。そして、起動後の時間経過によって作動媒体のガス圧が安定すると徐々にストロークを大きくして、高い冷凍能力で運転する。

【0060】

また、起動直後にはストロークを小さくしリニアモータ13の往復運動の速度を速くしてガス圧を早く安定させるとともに、ストロークを大きくすると往復運動の速度を遅くして行き過ぎによる衝突を回避すると良い。

10

【0061】

尚、ピストン1とディスプレイサ2とが所定距離以内に接近した際や衝突の発生を検知した場合には、前述のステップ制御に切り換える。これにより、直前の駆動電圧よりも低い駆動電圧でリニアモータ13を駆動して衝突を回避した駆動に復帰できるようになっている。

【0062】

目標ストロークはテーブルから抽出するのではなく演算により求めてもよい。例えば、目標ストロークXbを式(6)或いは式(7)のように温度Tc、Thの関数により表わすことができる。式(6)または式(7)により目標ストロークを演算すると、よりなめらかにストロークを調整することができるとともに、記憶部111のデータ量を削減することができる。

20

【0063】

$$Xb = (\alpha_1 Tc + \alpha_2)(\alpha_3 Th + \alpha_4) \cdots (6)$$

$$Xb = (\beta_1 Tc^2 + \beta_2 Tc + \beta_3)(\beta_4 Th^2 + \beta_5 Th + \beta_6) \cdots (7)$$

($\alpha_1 \sim \alpha_4$, $\beta_1 \sim \beta_6$ は定数)

【0064】

次に、本発明の第2の実施形態のスターリング冷凍機について説明する。この実施形態は、後述する衝突検知手段を用いることにより、ストローク制御に加え、ピストン1とディスプレイサ2の衝突による危険な状態の回避が行えるようにしたものである。

30

【0065】

上記第1の実施形態において、マイクロコンピュータ104はリニアモータ13の駆動電圧を徐々に上昇させ、ピストン1とディスプレイサ2の衝突の危険があるストローク付近になると、目標ストロークが得られるまでゆっくりと上昇させる。このように駆動電圧を上昇させているときは、ピストン1とディスプレイサ2のストロークのバランスがうまく取れていないため、比較的衝突が起こりやすくなる。したがって、もし衝突が検知されれば、直ちにピストン1のストロークを小さくすることにより、衝突による危険な状態を回避することが必要である。

【0066】

この場合の衝突を検知する具体的方法について説明する。この方法は、駆動電圧を上昇させれば、リニアモータ13の消費電流が増加することを利用している。リニアモータ13の等価回路における駆動電圧Vtと消費電流Iの関係を予測演算し、駆動電圧を所定値上昇させたとき、予測演算して得られた消費電流値に数パーセント上乘せした衝突検知電流値Aを演算記憶する。そして、実際の消費電流値を電流センサ33により測定し、上記衝突検知電流値Aと比較する。測定値が衝突検知電流値Aを越えた場合は衝突と判断し、危険回避を行う。危険回避の具体的方法については後述する。

40

【0067】

また、ピストン1の目標ストロークが得られ、一定の駆動電圧でリニアモータ13を制御しているときは、ピストン1とディスプレイサ2の接近時の間隔が非常に小さくなってい

50

るため、負荷や入力電圧の少しの変動でも衝突する危険がある。

【0068】

この場合の衝突検知の具体的方法について説明する。この方法は、ピストン1とディスプレイサ2が衝突すれば、リニアモータ13の消費電流が周期的に変動することを利用して、すなわち、ピストン1の運動が目標ストロークに到達し、一定の駆動電圧でリニアモータ13を制御している場合、通常、消費電流値も一定になるはずであるが、ピストン1とディスプレイサ2の衝突が起これば、衝突のたびに周期的に電流値が大きく変動する。そのとき、衝突と判断できることを利用している。

【0069】

まず、目標ストロークが得られた時点で、消費電流値を検出して記憶する。そして、その値に数パーセントを掛けて衝突検知電流変動値Bを演算記憶する。そして、安定時の電流を0.1秒単位で繰り返し測定・記憶し、1秒毎にその変動値を下記の式で演算する。

変動値 = 1秒中の電流の最大値 - 1秒中の電流の最小値

【0070】

この変動値と衝突検知電流変動値Bと比較する。変動値が衝突検知電流変動値Bを越えた場合は、衝突と判断し回避処理を行う。ここで、上記記載の時間0.1秒、1秒は、一例であり、これに限定されるものではない。ちなみに、この衝突検知方法は、駆動電圧Vtが所定電圧を越えている場合に働かせると良い。

【0071】

上記のように2種類の衝突検知方法を用いて、ピストン1とディスプレイサ2の衝突の検知を行なっている。そして、実際衝突が検知されれば、ストローク制御から、ステップ制御に移行し、ストローク制御でコントロールしていた駆動電圧からステップで減らし、所定電圧低めの駆動電圧でリニアモータ13を駆動制御することになる。

【0072】

この減らす駆動電圧のステップ数は、ウォームセクションの温度Thとコールドセクションの温度Tcによる関数となっており、基本的に、ウォームセクションの温度Th、コールドセクションの温度Tcが高くなるとステップ数は大きくなるように設定されている。表2にその一例を示す。

【0073】

【表2】

Tc \ Th	~30°C	30°C~40°C	40°C~50°C	50°C~60°C
20°C~10°C	4ステップ	6ステップ	8ステップ	8ステップ
10°C~0°C	4ステップ	5ステップ	6ステップ	7ステップ
0°C~-10°C	4ステップ	5ステップ	6ステップ	7ステップ
-10°C~-20°C	3ステップ	4ステップ	5ステップ	6ステップ
-20°C~-30°C	3ステップ	4ステップ	5ステップ	6ステップ

【0074】

なお、ウォームセクション温度Thの代わりにバウンス空間温度Tbでも代用可能であり、また、ステップ数をThまたはTcについての一次関数や二次関数に変換することも可能である。

【0075】

このようにして衝突を検知すると、ストローク制御からステップ制御に移行し、リニアモータ13の駆動電圧をステップ数で下げることにより、ピストン1のストロークが瞬時に小さくなり、衝突による危険な状態を回避して安全に駆動制御することが可能となる。

【0076】

さらに、衝突を検知した場合にストローク制御からステップ制御に移行したが、逆にステップ制御からストローク制御に戻ることが必要になる。これには、時間による方法を取っていて、ステップ制御に移行した時点から所定時間経過後（例えば20秒後）、ストローク

10

20

30

40

50

ク制御に復帰するように設計している。そして、ステップ制御を行なっている間は衝突検知を停止している。

【0077】

この場合、上記所定時間も負荷の変動にリンクさせることが可能で、ウォームセクションの温度 T_h とコールドセクションの温度 T_c を変数とする 2 次元テーブルを利用するとよい。表 3 にその一例を示す。基本的には、ウォームセクションの温度 T_h が高く、コールドセクションの温度 T_c が低いと時間が長くなるように設計されている。

【0078】

【表 3】

$T_c \backslash T_h$	～30℃	30℃～40℃	40℃～50℃	50℃～60℃
20℃～10℃	8秒	12秒	15秒	20秒
10℃～0℃	10秒	15秒	17秒	22秒
0℃～－10℃	13秒	20秒	23秒	25秒
－10℃～－20℃	15秒	22秒	26秒	28秒
－20℃～－30℃	20秒	24秒	28秒	30秒

10

【0079】

また、ウォームセクション温度 T_h の代わりにバウンス空間温度 T_b でも代用可能であり、また、衝突検知の停止時間（上記所定時間）をウォームセクション温度 T_h またはコールドセクション温度 T_c についての一次関数や二次関数に変換することも可能である。

20

【0080】

次に、本発明の第 3 の実施形態のスターリング冷凍機について説明する。本実施形態は、スターリング冷凍機 40 の組立誤差や部品精度等の寸法に応じてマイクロコンピュータ 104 により目標ストロークを補正するようになっている。

【0081】

また、スターリング冷凍機 40 の組立誤差や部品精度によってピストン 1 とディスプレイサ 2 との間隔等の寸法に個体差が生じる。この時、全製品のスターリング冷凍機 40 を表 1 と同じテーブルの目標ストロークを用いてストローク制御を行うと、ピストン 1 とディスプレイサ 2 との衝突が発生する場合がある。

30

【0082】

このため、記憶部 111 には目標ストロークを補正する補正データが格納されている。例えば、記憶部 111 にはピストン 1 とディスプレイサ 2 との間隔に対応した係数 k_1 のテーブルが記憶される。製造工程では、スターリング冷凍機 40 の各個体に対してのピストン 1 とディスプレイサ 2 との間隔を計測し記憶部 111 に格納する。したがって、スターリング冷凍機 40 の各個体に対応する係数 k_1 がテーブルから定まることになる。

【0083】

スターリング冷凍機 40 の駆動時にマイクロコンピュータ 104 によって、記憶部 111 に格納された表 1 から目標ストローク X_b が、ピストン 1 とディスプレイサ 2 との間隔に応じた係数 k_1 のテーブルから係数 k_1 がそれぞれ読出され、式 (8) に示すように目標ストローク X_b が補正される。そして、補正された目標ストローク X_b' を基にストローク制御が行われるようになっている。

40

【0084】

$$X_b' = k_1 X_b \quad \dots (8)$$

【0085】

スターリング冷凍機 40 に供給される電圧が変動すると、電源部 105 の出力電圧も変動する。これにより、リニアモータ駆動用電圧出力部 101 からリニアモータ 13 に出力される駆動電圧が目標ストロークに対応しない電圧になる場合がある。このため、記憶部 111 には電源部 105 の出力電圧を補正する補正データが格納されている。例えば、記憶部 111 には電源部 105 の入力電圧に対応した係数 k_2 のテーブルが記憶される。

50

【0086】

スターリング冷凍機40の駆動時にマイクロコンピュータ104によって表1の目標ストロークが読出され、該目標ストロークに応じた駆動電圧が求められる。同時に記憶部111から電源部105の入力電圧に応じた係数 k_2 が読出され、式(9)に示すように電源部105の出力電圧 V_b が補正される。そして、補正された出力電圧 V_b' がリニアモータ駆動用電源出力部101に供給され、目標ストロークに対応した駆動電圧がリニアモータ13に供給されるようになっている。

【0087】

$$V_b' = k_2 V_b \quad \dots (9)$$

【0088】

また、リニアモータ13の消費電流 I が変動すると、インダクタンス L 及び抵抗成分 R (図5参照)の電圧降下の変化によりリニアモータ13に加わる電圧が変動する。これにより、所望のストロークが得られない場合がある。このため、記憶部111にはリニアモータ13の駆動電圧を補正する補正データが格納されている。例えば、記憶部111には消費電流に対応した係数 k_3 のテーブルが記憶される。

【0089】

スターリング冷凍機40の駆動時にマイクロコンピュータ104によって表1の目標ストロークが読出され、目標ストロークに応じた駆動電圧 V_c が求められる。同時に電流入力部103の入力に基づいて記憶部111から係数 k_3 が読出され、式(10)に示すように駆動電圧 V_c が補正される。そして、補正された駆動電圧 V_c' によりリニアモータ13が駆動されるようになっている。

【0090】

$$V_c' = k_3 V_c \quad \dots (10)$$

【0091】

上記の係数 k_1 、 k_2 、 k_3 はテーブルとして複数の値が格納されるが、係数 k_1 、 k_2 、 k_3 を演算により求める式を記憶部111またはROM121に格納してもよい。

【0092】

上記構成のスターリング冷凍機40の動作を図9のフローチャートを参照して説明する。まず、ステップ#10ではコールドセクションの温度 T_c 及びウォームセクションの温度 T_h を温度センサ34、35により検知し、 $T_c A/D$ 変換部108及び $T_h A/D$ 変換部109を介してマイクロコンピュータ104に送信する。

【0093】

ステップ#11では、マイクロコンピュータ104によって記憶部111に記憶された目標ストロークのテーブルから、温度 T_c 、 T_h に対応する目標ストローク X_b を抽出する。ステップ#12では、記憶部111に記憶された補正係数のテーブルから、ピストン1とディスプレイサ2との間隔に応じた補正係数 k_1 を抽出する。ステップ#13では、目標ストロークを式(8)に基づいて補正し、目標の目標ストローク X_b' を得る。

【0094】

ステップ#14ではスターリング冷凍機40の入力電圧(電源部105の入力電圧)を検出する。ステップ#15では記憶部111に記憶された補正係数 k_2 のテーブルから、入力電圧に対応した補正係数 k_2 を抽出する。ステップ#16では、電源部105の出力電圧を式(9)に基づいて補正し、安定した出力電圧 V_b' を得る。

【0095】

ステップ#17では目標ストロークで駆動するための駆動電圧 V_c をマイクロコンピュータ104により演算する。ステップ#18ではリニアモータ13の消費電流 I を電流センサ33で検知し、電流値入力部103を介してマイクロコンピュータ104に入力する。

【0096】

ステップ#19では、記憶部111に記憶された補正係数 k_3 のテーブルから、消費電流 I に対応した補正係数 k_3 を抽出する。ステップ#20では、リニアモータ駆動用電圧出力部101から出力する駆動電圧を式(10)に基づいて補正し、目標ストロークに狂い

10

20

30

40

50

が生じない駆動電圧 V_c' を得る。

【0097】

ステップ#21ではリニアモータ駆動用電圧出力部101から駆動電圧 V_c' を出力してリニアモータ13に印加する。ステップ#22では、上記式(1)(2)に基づいてピストン1のストローク X_p を検出する。ステップ#23では検出したストローク X_p が目標ストローク X_b' に一致しているかを判別する。

【0098】

ストローク X_p と目標ストローク X_b' とが一致していない場合は、ステップ#14～#23を繰り返し、検出したストローク X_p に基づいて駆動電圧 V_c を再度演算する(ステップ#17)。ストローク X_p と目標ストローク X_b' とが一致すると、ステップ#10 10
に戻り、スターリング冷凍機40の運転状況の変化に対応して目標ストロークを調整する動作が繰り返し行われる。

【0099】

本実施形態によると、ピストン1のストロークを検出して目標ストロークに制御するところのストローク制御を行うことにより、ピストン1とディスプレイサ2との衝突を回避するとともに、スターリング冷凍機40の冷凍能力を向上させることができる。

【0100】

また、記憶部111にスターリング冷凍機40の運転状況に応じた目標ストロークのテーブルが記憶されるので、運転状況に応じた目標ストロークでリニアモータ13を駆動することができる。従って、ピストン1とディスプレイサ2との衝突を回避するとともに、ス 20
ターリング冷凍機40の冷凍能力をより向上させることができる。

【0101】

また、記憶部111をマイクロコンピュータ104内臓のROM121とは別に設けているため、マイクロコンピュータ104の負荷を軽減するとともに、大容量のデータを格納することができる。これにより、種々の運転状況に応じた目標ストロークを記憶してきめ 30
細かい制御を行うことができる。

【0102】

更に、スターリング冷凍機40の組立誤差や部品精度等による寸法バラツキに応じて目標ストロークを補正するので、スターリング冷凍機40の個体差によるピストン1とディスプレイサ2との衝突を回避することができる。 40

【0103】

加えて、スターリング冷凍機40に供給される電圧の変動やリニアモータ13の消費電流の変動に応じてマイクロコンピュータ104により電源部105の出力電圧或いはリニアモータ13の駆動電圧を補正するので、より安定した目標ストロークでリニアモータ13を駆動できる。

【0104】

次に、第4の実施形態のスターリング冷凍機について説明する。本実施形態の構成は前述の図1～図9に示す第1～第3実施形態と同様であり、表4に示すように、記憶部111に記憶された目標ストロークのテーブルが異なっている。

【0105】

【表4】

時間(秒)	0～10	10～60	60～120	120～240	240～600	600～
最適ストローク	4.0mm	4.5mm	5.0mm	5.5mm	6.0mm	6.5mm

【0106】

同表によると、目標ストロークは、スターリング冷凍機40の起動後の時間経過を変数とする1次元(リニア)テーブルとなっており、時間経過に従って増加している。時間経過はタイマー123(図4参照)により計測し、経過時間に対応した目標ストロークになるようにピストン1のストロークが調整される。前述の図9に示すフローチャートのステッ 50

プ#10において、タイマー123によって起動後の時間を検出することにより第1実施形態と同様に制御することができる。

【0107】

これにより、起動直後の不安定な時期は、目標ストロークを小さくしてピストン1とディスプレーサ2との衝突を回避するとともに、安定状態になるほど目標ストロークを大きくして冷却能力を高くできるようになっている。尚、起動直後は経過時間によって表4に示すテーブルから目標ストロークを抽出し、所定時間経過後（例えば120秒後）に、低温側と高温側の温度によって表1に示すテーブルから目標ストロークを抽出するとよりきめ細かい制御が可能になる。

【0108】

次に本発明の第5の実施形態について説明する。図10は、第5の実施形態のスターリング冷凍機の動作を示すフローチャートである。本実施形態は、スターリング冷凍機40の入力電圧V及びリニアモータ13の消費電流Iに基づいて目標ストロークのテーブル（表1参照）を補正して作成し、このテーブルを随時更新するようになっている。

【0109】

まず、ステップ#30ではスターリング冷凍機40の入力電圧Vを検出する。ステップ#31ではリニアモータ13の消費電流Iを電流センサ33で検知し、電流値入力部103を介してマイクロコンピュータ104に入力する。ステップ#32では、記憶部111に格納された表5に示す補正テーブルから、入力電圧V及び消費電流Iに基づいて基準時の目標ストローク Xb' (I_n 、 V_n)を抽出する。表5において、列方向には入力電圧Vに応じて4段階に区別され、行方向には消費電流Iに応じて4段階に区別されている。例えば、 $I = I_4$ 、 $V = V_4$ であったとすると、抽出される基準時の目標ストローク Xb' (I_4 、 V_4)は、5.7mmとなる。

【0110】

【表5】

$I \setminus V$	V_1	V_2	V_3	V_4
I_1	6.3mm	6.2mm	6.1mm	6.0mm
I_2	6.2mm	6.1mm	6.0mm	5.9mm
I_3	6.1mm	6.0mm	5.9mm	5.8mm
I_4	6.0mm	5.9mm	5.8mm	5.7mm

【0111】

基準時の目標ストローク Xb' (I 、 V)は、例えばコールドセクションの温度 T_c が -15°C 、ウォームセクションの温度 T_h が 45°C のときの目標ストローク Xb' (I 、 V)が記憶されている。

【0112】

スターリング冷凍機40の入力電圧V及びリニアモータ13の消費電流Iが変動すると、リニアモータ駆動用電圧出力部101（図3参照）から所定の目標ストローク Xb に応じた駆動電圧を出力してもピストン1が目標ストローク Xb で駆動されない。そのため、入力電圧V及び消費電流Iに応じて目標ストローク Xb の補正が必要となる。

【0113】

ステップ#33では、基準時の目標ストローク Xb' (I 、 V)に基づいて、前述の表1と同様の目標ストローク Xb' のテーブルが作成され、記憶部111に記憶される。すなわち、表1における $T_c = -15^\circ\text{C}$ 、 $T_h = 45^\circ\text{C}$ での目標ストロークの値が6.0mmから5.7mmに補正されるため、表6のようなテーブルが作成されることになる。表6では、表1に示す目標ストローク Xb に対して各条件下の目標ストローク Xb' が同じ比率（95%）になっている。

【0114】

【表 6】

$T_c \backslash T_h, T_b$	$\sim 30^\circ\text{C}$	$30^\circ\text{C} \sim 40^\circ\text{C}$	$40^\circ\text{C} \sim 50^\circ\text{C}$	$50^\circ\text{C} \sim 60^\circ\text{C}$
$10^\circ\text{C} \sim 20^\circ\text{C}$	5.6mm	5.4mm	5.2mm	5.0mm
$0^\circ\text{C} \sim 10^\circ\text{C}$	5.7mm	5.5mm	5.3mm	5.1mm
$-10^\circ\text{C} \sim 0^\circ\text{C}$	5.9mm	5.7mm	5.5mm	5.3mm
$-20^\circ\text{C} \sim -10^\circ\text{C}$	6.1mm	5.9mm	5.7mm	5.5mm
$-30^\circ\text{C} \sim -20^\circ\text{C}$	6.2mm	6.0mm	5.9mm	5.6mm

10

【0115】

ステップ#34ではコールドセクションの温度 T_c 及びウォームセクションの温度 T_h を温度センサ34、35により検知し、 $T_c A/D$ 変換部108及び $T_h A/D$ 変換部109を介してマイクロコンピュータ104に入力する。ステップ#35では、マイクロコンピュータ104によって記憶部111に記憶された目標ストローク X_b' のテーブル（表6参照）から、温度 T_c 、 T_h に対応する目標ストローク X_b' を抽出する。

【0116】

ステップ#36では、リニアモータ駆動用電圧出力部101から出力する駆動電圧 V_c を目標ストローク X_b' に基づいて演算する。ステップ#37ではリニアモータ駆動用電圧出力部101から駆動電圧 V_c を出力してリニアモータ13に印加する。ステップ#38では、上記式（1）（2）に基づいてピストン1のストローク X_p を検出する。

20

【0117】

ステップ#39では、マイクロコンピュータ104によって記憶部111に記憶された目標ストローク X_b のテーブル（表1参照）から、温度 T_c 、 T_h に対応する目標ストローク X_b を抽出する。ステップ#40では検出したストローク X_p が目標ストローク X_b に一致しているかを判別する。

【0118】

ストローク X_p と目標ストローク X_b とが一致していない場合は、ステップ#36～#40を繰り返し、検出したストローク X_p に基づいて駆動電圧 V_c を再度演算してリニアモータ13を駆動する。ストローク X_p と目標ストローク X_b とが一致するとステップ#30に戻り、スターリング冷凍機40の運転状況の変化に対応して目標ストローク X_b' のテーブルを書換えて同じ動作が繰り返し行われる。

30

【0119】

【発明の効果】

本発明によると、ピストンのストロークを検出して目標ストロークに制御するストローク制御を行うことにより、ピストンとディスプレイサとの衝突を回避するとともに、スターリング冷凍機の冷凍能力を向上させることができる。また、記憶部にスターリング冷凍機の運転状況に応じた目標ストロークが記憶されるので、運転状況に応じた目標ストロークでリニアモータを駆動することができる。従って、ピストンとディスプレイサとの衝突を回避するとともに、スターリング冷凍機の冷凍能力をより向上させることができる。

40

【0120】

また、記憶部をマイクロコンピュータ内臓のROM等とは別に設けているためマイクロコンピュータの負荷を軽減できるとともに、大容量のデータを格納することができる。これにより、種々の運転状況に応じた目標ストロークを記憶してきめ細かい制御を行うことができる。

【0121】

また、本発明によると、スターリング冷凍機の起動後の時間に応じた目標ストロークや、スターリング冷凍機の低温側及び高温側の温度に応じた目標ストロークを記憶するので、例えば、起動直後の作動媒体のガス圧が不安定なときはリニアモータを小さいストローク

50

で駆動し、起動後の時間経過によって作動媒体のガス圧が安定すると徐々にストロークを大きくすることができる。従って、スターリング冷凍機起動時におけるピストンとディスプレイサとの衝突が低減されるとともに、高い冷凍能力で運転することができる。

【0122】

また、本発明によると、スターリング冷凍機の寸法バラツキに基づいて目標ストロークを補正する補正データを記憶部に記憶するので、スターリング冷凍機の個体差によるピストンとディスプレイサとの衝突を回避することができる。

【0123】

また、本発明によると、スターリング冷凍機の入力電圧や、リニアモータの消費電流に基づいてリニアモータの駆動電圧を補正するので、より安定した目標ストロークでのピストン駆動を実現できる。

10

【0124】

また、本発明によると、スターリング冷凍機の入力電圧や、リニアモータの消費電流に基づいてリニアモータの駆動電圧を補正する補正データを書換えるので、より高精度に目標ストロークでのピストン駆動を実現できる。

【図面の簡単な説明】

【図1】 本発明の第1の実施形態のスターリング冷凍機を示す断面図である。

【図2】 本発明の第1の実施形態のスターリング冷凍機の接続状態を示す図である。

【図3】 本発明の第1の実施形態のスターリング冷凍機の制御ボックスの構成を示すブロック図である。

20

【図4】 本発明の第1の実施形態のスターリング冷凍機のマイクロコンピュータの構成を示すブロック図である。

【図5】 本発明の第1の実施形態のスターリング冷凍機のリニアモータの等価回路図である。

【図6】 本発明の第1の実施形態のスターリング冷凍機のリニアモータの入力電圧 V_t と逆起電力 V_g の関係を示すベクトル図である。

【図7】 本発明の第1の実施形態の駆動電圧と電流の出力波形を示す図である。

【図8】 本発明の第1の実施形態のスターリング冷凍機のストローク制御のプログラムの一例を示すフローチャートである。

【図9】 本発明の第3の実施形態のスターリング冷凍機の動作を示すフローチャートである。

30

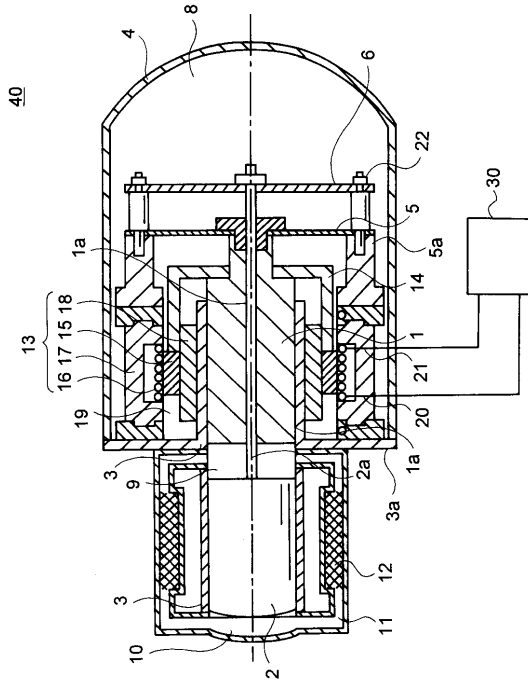
【図10】 本発明の第5の実施形態のスターリング冷凍機の動作を示すフローチャートである。

【符号の説明】

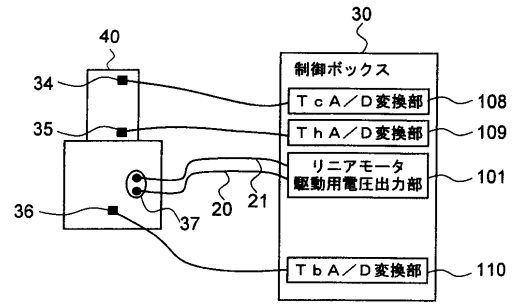
- 1 ピストン
- 2 ディスプレイサ
- 3 シリンダ
- 8 バウンス空間（背圧空間）
- 9 圧縮空間（ウォームセクション）
- 10 膨張空間（コールドセクション）
- 12 再生器
- 13 リニアモータ
- 30 制御ボックス
- 33 電流センサ
- 34 T_c 温度センサ
- 35 T_h 温度センサ
- 36 T_b 温度センサ

40

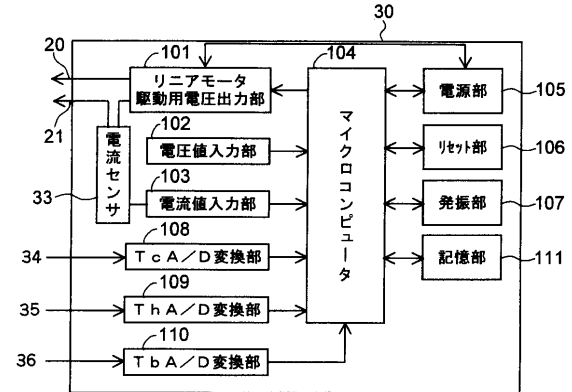
【図 1】



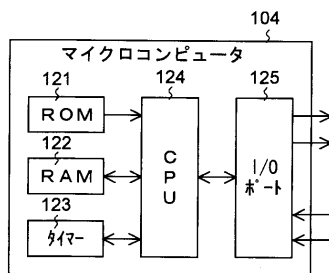
【図 2】



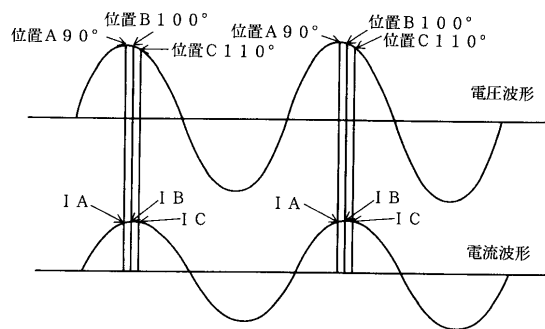
【図 3】



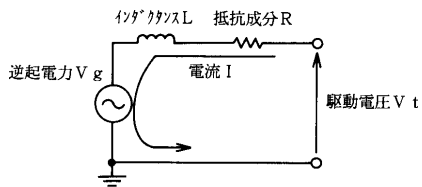
【図 4】



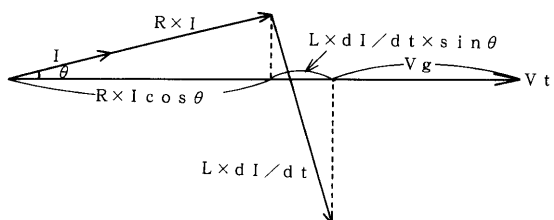
【図 7】



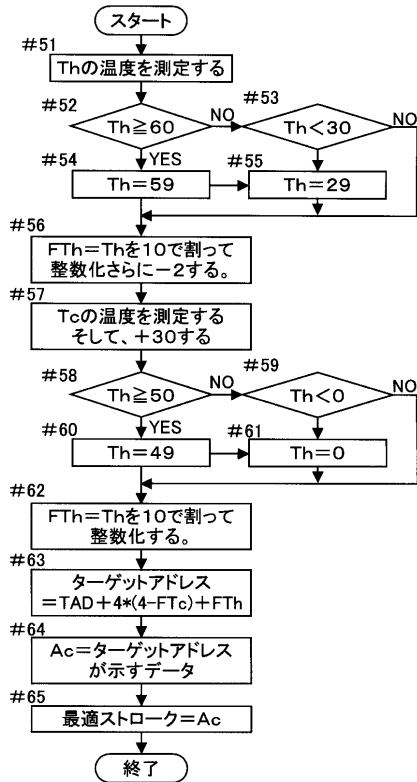
【図 5】



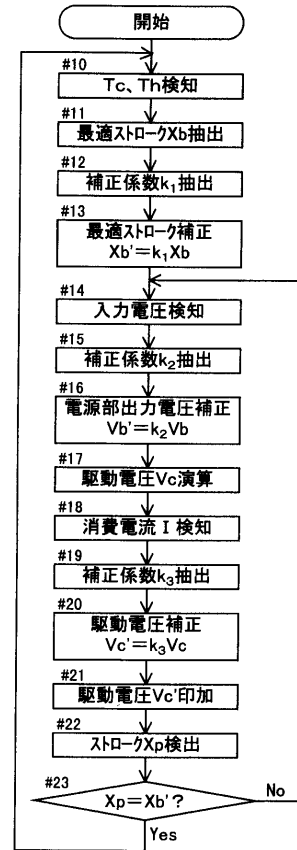
【図 6】



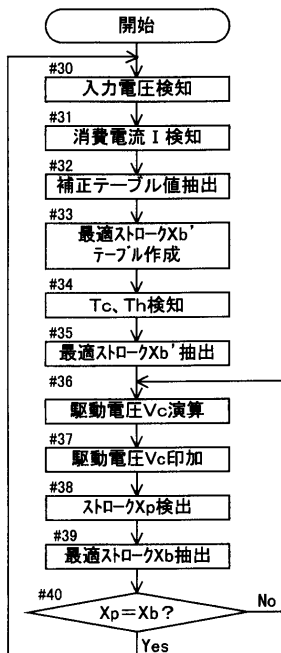
【図 8】



【図 9】



【図 10】



フロントページの続き

審査官 莊司 英史

- (56)参考文献 特開2000-304366 (JP, A)
特開平11-132585 (JP, A)
特開2001-286185 (JP, A)
特開平10-253184 (JP, A)
特開平10-026076 (JP, A)
特開平02-230061 (JP, A)
特開平09-112438 (JP, A)
特開平04-335965 (JP, A)

- (58)調査した分野(Int.Cl., DB名)
F25B 9/14