

(19) 日本国特許庁(JP)

## (12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第4986559号  
(P4986559)

(45) 発行日 平成24年7月25日(2012.7.25)

(24) 登録日 平成24年5月11日(2012.5.11)

(51) Int.Cl.

F 1

**G05D 23/00** (2006.01)  
**G05D 23/19** (2006.01)  
**G05B 11/36** (2006.01)  
**G05B 13/04** (2006.01)

GO5D 23/00  
 GO5D 23/19  
 GO5D 23/19  
 GO5B 11/36  
 GO5B 13/04

A  
 G  
 J  
 K

請求項の数 7 (全 17 頁)

(21) 出願番号

特願2006-258995 (P2006-258995)

(22) 出願日

平成18年9月25日 (2006.9.25)

(65) 公開番号

特開2008-77575 (P2008-77575A)

(43) 公開日

平成20年4月3日 (2008.4.3)

審査請求日

平成21年4月10日 (2009.4.10)

(73) 特許権者 590000835

株式会社 K E L K

神奈川県平塚市四之宮三丁目25番1号

(74) 代理人 110000279

特許業務法人 ウィルフォート国際特許事務所

(72) 発明者 三村 和弘

神奈川県平塚市四之宮三丁目25番1号

小松エレクトロニクス株式会社内

審査官 牧 初

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 流体の温度制御装置及び方法

## (57) 【特許請求の範囲】

## 【請求項 1】

流体の温度制御を行う温度制御装置(1)であって、  
 流体の流路の途中に直列または並列、あるいはこれらの組み合わせで配置された、加熱または冷却手段を備えた複数の流体貯留部(15)と、  
 前記複数の流体貯留部のうちの一部の流体貯留部の出口に設けられた出口温度センサ(16)と、

当該温度制御装置に流入する流体の入口温度を測定する入口温度センサ(14)と、  
 前記複数の流体貯留部のそれぞれの出口における流体の目標温度である個別目標温度を取得する手段(51)と、

前記加熱または冷却手段を持つ流体貯留部をモデル化し、前記出口温度センサが備えられていない流体貯留部の出口温度および前記出口温度センサが備えられている流体貯留部の出口温度を前記モデルで算出し、前記出口温度センサが備えられている流体貯留部の測定された出口温度と前記モデルで算出された前記出口温度センサが備えられている流体貯留部の出口温度との差を前記モデルに入力される入口温度および操作量にフィードバックすることにより、前記モデルで算出された前記出口温度センサが備えられていない流体貯留部の出口温度に修正を加え、前記複数の流体貯留部のうち、前記出口温度センサが備えられていない流体貯留部の出口における流体の出口温度を推定する推定手段(6)と、

前記出口温度センサが設けられている流体貯留部に対しては、測定された出口温度と前記個別目標温度とに基づいて操作量を決定し、前記出口温度センサが設けられていない流

10

20

体貯留部に対しては、前記推定手段で推定した推定温度と前記個別目標温度とに基づいて操作量を決定し、当該決定された操作量に基づいて、各加熱または冷却手段を操作して前記流体貯留部の出口温度を制御する制御手段（51）と、を備える流体の温度制御装置。

#### 【請求項2】

前記複数の流体貯留部が、流体の流路の途中で直列に配置されている場合、

前記出口温度センサは、最下流の流体貯留部の出口近傍に一つだけ設けられていることを特徴とする請求項1記載の流体の温度制御装置。

#### 【請求項3】

前記推定手段は、さらに、前記加熱または冷却手段を持つ流体貯留部の入口温度および該流体貯留部に入力される操作量に外乱が加わると仮定して外乱を状態量として考慮したモデルを使用し、前記出口温度センサが備えられていない流体貯留部の出口温度および前記出口温度センサが備えられている流体貯留部の出口温度および前記外乱を前記モデルで算出し、前記出口温度センサが備えられている流体貯留部の測定された出口温度と前記モデルで算出された前記出口温度センサが備えられている流体貯留部の出口温度との差を前記モデルに入力される入口温度および操作量にフィードバックすることにより、前記モデルで算出された前記出口温度センサが備えられていない流体貯留部の出口温度および外乱に修正を加え、各加熱または冷却手段を持つ流体貯留部に加わる外乱の推定を行うことを特徴とする請求項1記載の流体の温度制御装置。

10

#### 【請求項4】

前記推定手段は、前記加熱または冷却手段を持つ流体貯留部の入口温度および該流体貯留部に入力される操作量に外乱が加わると仮定して外乱を状態量として考慮したモデルを使用し、前記出口温度センサが備えられていない流体貯留部の出口温度および前記出口温度センサが備えられている流体貯留部の出口温度および前記外乱を前記モデルで算出し、前記出口温度センサが備えられている流体貯留部の測定された出口温度と前記モデルで算出された前記出口温度センサが備えられている流体貯留部の出口温度との差を前記モデルに入力される入口温度および操作量にフィードバックすることにより、前記モデルで算出された前記出口温度センサが備えられていない流体貯留部の出口温度および外乱に修正を加え、各加熱または冷却手段を持つ流体貯留部にそれぞれ加わる個別の外乱を推定し、

20

前記制御手段は、各加熱または冷却手段に対するそれぞれの操作量を、推定した前記個別の外乱を減算することによって修正し、当該修正された操作量に基づいて、各加熱または冷却手段を操作して前記流体貯留部の出口温度を制御することを特徴とする請求項3記載の流体の温度制御装置。

30

#### 【請求項5】

前記推定手段は、いずれも共通の動特性を有する、前記複数の加熱または冷却手段を持つ流体貯留部のモデルを備えるとともに、前記出口温度センサが備えられている流体貯留部の測定された出口温度と前記モデルで算出された前記出口温度センサが備えられている流体貯留部の出口温度との差に、等しいゲインを乗算して前記モデルに入力される入口温度および操作量の各々にフィードバックすることにより、前記モデルで算出された前記出口温度センサが備えられていない流体貯留部の出口温度に修正を加え、各加熱または冷却手段を持つ流体貯留部のモデルの操作量に対して加わる修正量が等しくなるように構成されていることを特徴とする請求項1記載の流体の温度制御装置。

40

#### 【請求項6】

前記推定手段は、いずれも共通の動特性を有する、前記複数の加熱または冷却手段を持つ流体貯留部に同一の外乱が加わるものと仮定したモデルを備えるとともに、前記出口温度センサが備えられていない流体貯留部の出口温度および前記出口温度センサが備えられている流体貯留部の出口温度および前記外乱を前記モデルで算出し、前記出口温度センサが備えられている流体貯留部の測定された出口温度と前記モデルで算出された前記出口温度センサが備えられている流体貯留部の出口温度との差を前記モデルに入力される入口温度および操作量にフィードバックすることにより、前記モデルで算出された前記出口温度センサが備えられていない流体貯留部の出口温度および外乱に修正を加え、当該外乱の推

50

定を行い、各加熱または冷却手段を持つ流体貯留部のモデルの操作量に対して加わる修正量が等しくなるように構成されていることを特徴とする請求項 3 記載の流体の温度制御装置。

#### 【請求項 7】

流体の温度制御を行う温度制御方法であって、

流体の流路の途中に直列または並列、あるいはこれらの組み合わせで配置された、加熱または冷却手段を備えた複数の流体貯留部（15）のそれぞれの出口における流体の目標温度である個別目標温度を取得するステップと、

温度制御装置に流入する流体の入口温度を測定するステップと、

前記複数の流体貯留部のうちの一部の流体貯留部の出口における流体の出口温度を測定するステップと、10

前記加熱または冷却手段を持つ流体貯留部をモデル化した推定器（6）を用いて、前記出口温度を測定しない流体貯留部の出口温度および前記出口温度を測定する流体貯留部の出口温度を前記モデルで算出し、前記出口温度を測定する流体貯留部の測定された出口温度と前記モデルで算出された前記出口温度を測定する流体貯留部の出口温度との差を前記モデルに入力される入口温度および操作量にフィードバックすることにより、前記モデルで算出された前記出口温度を測定しない流体貯留部の出口温度に修正を加え、前記出口温度を測定しない流体貯留部の出口における流体の出口温度を推定するステップと、

前記出口温度を測定した流体貯留部に対しては、測定された出口温度と前記個別目標温度とに基づいて操作量を決定するステップと、20

前記出口温度を測定していない流体貯留部に対しては、前記推定した推定温度と前記個別目標温度とに基づいて操作量を決するステップと、

前記決定された操作量に基づいて、各加熱または冷却手段を操作して前記流体貯留部の出口温度を制御するステップと、を有する方法。30

#### 【発明の詳細な説明】

##### 【技術分野】

##### 【0001】

本発明は、流体が所定の目標温度になるように温度制御を行う、流体の温度制御装置に関する。30

##### 【背景技術】

##### 【0002】

複数の加温槽を備え、各加温槽で流体を加熱する流体の温度制御装置が知られている（たとえば、特許文献1）。このような温度制御装置では、各加温槽の出口に温度センサを備え、目標温度に対して測定した出口温度をフィードバックして、目標温度に精度よく制御することが行われている。

##### 【0003】

また、特許文献2のように、最下流の加温槽の出口温度のみを制御し、他の加温槽については温度制御を行わず、ヒータの出力を固定とするものがある。

【特許文献1】特開平11-83175号公報

【特許文献2】特開平6-250743号公報

##### 【発明の開示】

##### 【発明が解決しようとする課題】

##### 【0004】

特許文献1のような温度制御装置では、加温槽の数だけ温度センサが必要となり、コストアップが避けられない。また、部品点数が増えることにより、その分故障の可能性が増し、メンテナンスコストも増える。

##### 【0005】

また、特許文献2のような温度制御装置では、最下流の加温槽しか温度制御ができないので、装置全体で見ると制御の自由度が低い。50

**【0006】**

そこで、本発明の目的は、流体の温度制御装置において、制御の自由度を損なわずに、温度センサの個数を抑制することである。

**【課題を解決するための手段】****【0007】**

本発明の一実施態様に従う流体の温度制御装置(1)は、流体の流路の途中に直列または並列、あるいはこれらの組み合わせで配置された、加熱または冷却手段を備えた複数の流体貯留部(15)と、前記複数の流体貯留部のうちの一部の流体貯留部の出口に設けられた出口温度センサ(16)と、当該温度制御装置に流入する流体の入口温度を測定する入口温度センサ(14)と、前記複数の流体貯留部のそれぞれの出口における流体の目標温度である個別目標温度を取得する手段(51)と、前記加熱または冷却手段を持つ流体貯留部をモデル化し、前記複数の流体貯留部のうち、前記出口温度センサが備えられていない流体貯留部の出口における流体の出口温度を推定する推定手段(6)と、前記出口温度センサが設けられている流体貯留部に対しては、測定された出口温度と前記個別目標温度とに基づいて操作量を決定し、前記出口温度センサが設けられていない流体貯留部に対しては、前記推定手段で推定した推定温度と前記個別目標温度とに基づいて操作量を決定し、当該決定された操作量に基づいて、各加熱または冷却手段を操作して前記流体貯留部の出口温度を制御する制御手段(51)と、を備える。  
10

**【0008】**

好適な実施形態では、前記複数の流体貯留部が、流体の流路の途中で直列に配置されている場合、前記出口温度センサは、最下流の流体貯留部の出口近傍に一つだけ設けられていてもよい。

20

**【0009】**

好適な実施形態では、前記複数の流体貯留部を流れる流体の単位時間あたり流量を測定する流量センサ(13)をさらに備え、前記流量センサが測定した単位時間あたり流量に応じて、前記推定手段におけるパラメータが定まるようにしてもよい。

**【0010】**

好適な実施形態では、前記推定手段は、さらに、各加熱または冷却手段を持つ流体貯留部に加わる外乱の推定を行うものであってもよい。

30

**【0011】**

好適な実施形態では、前記推定手段は、各加熱または冷却手段を持つ流体貯留部にそれぞれ加わる個別の外乱を推定し、前記制御手段は、各加熱または冷却手段に対するそれぞれの操作量を、前記個別の外乱で修正し、当該修正された操作量に基づいて、各加熱または冷却手段を操作して前記流体貯留部の出口温度を制御し、また、当該修正された操作量に基づいて、温度を推定するようにしてもよい。

**【0012】**

好適な実施形態では、前記推定手段は、いずれも共通の動特性を有する、前記複数の加熱または冷却手段を持つ流体貯留部のモデルを備えるとともに、各加熱または冷却手段を持つ流体貯留部のモデルの操作量に対して加わる修正量が等しくなるように構成されてもよい。

40

**【0013】**

好適な実施形態では、前記推定手段は、いずれも共通の動特性を有する、前記複数の加熱または冷却手段を持つ流体貯留部のモデルを備えるとともに、前記複数の加熱または冷却手段を持つ流体貯留部に同一の外乱が加わるものとして、当該外乱の推定を行うものであってもよい。

**【0014】**

本発明の他の実施態様に従う流体の温度制御方法は、流体の流路の途中に直列または並列、あるいはこれらの組み合わせで配置された、加熱または冷却手段を備えた複数の流体

50

貯留部(15)のそれぞれの出口における流体の目標温度である個別目標温度を取得するステップと、当該温度制御装置に流入する流体の入口温度を測定するステップと、前記複数の流体貯留部のうちの一部の流体貯留部の出口における流体の出口温度を測定するステップと、前記加熱または冷却手段を持つ流体貯留部をモデル化した推定器(6)を用いて、前記出口温度を測定しない流体貯留部の出口における流体の出口温度を推定するステップと、前記出口温度を測定した流体貯留部に対しては、測定された出口温度と前記個別目標温度とに基づいて操作量を決定するステップと、前記出口温度を測定していない流体貯留部に対しては、前記推定した推定温度と前記個別目標温度とに基づいて操作量を決するステップと、前記決定された操作量に基づいて、各加熱または冷却手段を操作して前記流体貯留部の出口温度を制御するステップと、を有する。

10

#### 【発明を実施するための最良の形態】

##### 【0015】

以下、本発明の一実施形態に係る流体の温度制御装置について、図面を参照して説明する。

##### 【0016】

図1は、本実施形態に係る温度制御装置1の構成を概略的に示す図である。

##### 【0017】

本温度制御装置1は、流体を貯留して、その加熱を行う第1及び第2加温槽15a, 15bと、各加温槽15a, 15bの制御を行う制御部5と、各加温槽15a, 15bをモデル化した推定器6とを備える。

20

##### 【0018】

まず、流体の流れについて説明すると、本実施形態において、加温槽15a, 15bは直列で、下から第1加温槽15a、第2加温槽15bの順に配置されている。そして、第1加温槽15aの下方に設けられた流入口11から流体が流れ込む。そして、この流れ込んだ流体が、流路10を通って第1及び第2加温槽15a, 15bへと上方へ流れしていく。そして、第1及び第2加温槽15a, 15bによって加温された流体が、第2加温槽15bの上方に設けられた流出口19から流出する。

##### 【0019】

流入口11近傍の流路10には、流れ込む流体の流量を調節するための流量調節弁12が設けられている。流量調節弁12と第1加温槽15aとの間には、流量センサ13と、入口温度センサ14とが設けられている。

30

##### 【0020】

第2加温槽15bから流出する流体は、流出口19から装置外部に排出される。流出口19の近傍に、出口温度センサ16が設けられている。ここで、第1加温槽15aと第2加温槽15bとをつなぐ流路10には、出口温度センサが設けられていない。第1加温槽15aの出口における流体温度は、推定器6で推定する。つまり、一部の加温槽15の出口にだけ温度センサを備え、出口に温度センサを備えていない加温槽15については、温度を推定する。

##### 【0021】

40

各センサ13, 14, 16の出力は、制御部5及び推定器6へ入力される。制御部5は、各センサ13, 14, 16の出力、上位装置からの指令値及び推定器6の推定結果に基づいて、各加温槽15a, 15bの温度制御を行う。制御部5及び推定器6の詳細については後述する。

##### 【0022】

なお、本実施形態では、流体の温度制御として、流体を加熱する場合について説明するが、本発明は流体を冷却する場合、あるいは流体の加熱及び冷却の両方を行う場合にも適用可能である。

##### 【0023】

また、本実施形態では、2つの加温槽を直列に接続した、直列2段の構成となっている

50

が、段数は3段以上でもよい。さらに、複数の加温槽が並列に接続された構成であってもよいし、直列と並列とを組み合わせた構成でもよい。

#### 【0024】

さらに、本実施形態では、最下流の加温槽の出口にだけ温度センサを備えているが、推定器の成立条件である可観測性を満たしていれば、他の加温槽の出口に温度センサを備えてもよい。

#### 【0025】

図2及び図3は、加温槽15の構成の一例を示す図である。ここで、第1及び第2加温槽15a, 15bの構成は共通であり、特に区別する必要のないときは加温槽15と記す。

10

#### 【0026】

図2は加温槽15の縦断面図であり、図3は横断面図である。

#### 【0027】

加温槽15は、中空の筒状の胴体21により形成され、胴体21の両端22, 23は密封されている。胴体21は、例えばガラス製でよい。さらに、胴体21には、長手方向に6本のパイプ24、24, ..., が形成されている。それぞれのパイプ24内には、胴体21内の流体を加熱するための棒状のヒータ25、25, ..., が挿入されている。ヒータ25、25, ..., は、例えばハロゲンランプでよい。胴体21の側面には、入口管26及び出口管27が設けられている。入口管26は胴体21の一方の端部寄り、出口管27は他方の端部寄りに設けられている。さらに、入口管26を下方へ向けたとき、出口管27は上方へ向くように配置されている。

20

#### 【0028】

上記のような構成の加温槽15は、入口管26が下に向くように配置されたときに、入口管26から胴体21内に流れ込んだ流体が、胴体内部Aに溜まるようになっている。このとき、胴体内部Aの流体がヒータ25により加熱されて、上向きの出口管27から流れ出るようになっている。そして、本実施形態では、この加温槽15を直列2段に接続し、流体を徐々に加熱するようになっている。

#### 【0029】

図4は、第1の実施形態に係る温度制御装置1のブロック図であり、図5は、第1の実施形態に係る推定器6aのブロック図である。

30

#### 【0030】

図4に示すように、制御部5は個別制御部51a、51bを備え、加温槽15a、15b及びその内部の流体を加熱するヒータ25a、25bを制御対象とする。

#### 【0031】

個別制御部51aには、加温槽15aにおいて加熱する流体の目標温度SV1と、推定器6aで推定した温度Tout1\_hとの差が、入力信号として与えられる。個別制御部51aは、この入力信号に基づいて、操作量MV1を出力して上流側の加温槽15aにあるヒータ25aを操作する。

#### 【0032】

個別制御部51bには、加温槽15bにおいて加熱する流体の目標温度SV2と、出口温度センサ16で測定した実際の出口温度Tout2との差が、入力信号として与えられる。個別制御部51bは、この入力信号に基づいて操作量MV2を出力して下流側の加温槽15bにあるヒータ25bを操作する。

40

#### 【0033】

本実施形態に係る推定器6aは、図5に示すように、入口温度Tin、操作量MV1, MV2及び実測した加温槽15bの出口温度Tout2を入力として、加温槽15aの出口温度の推定値Tout1\_hを出力する。この推定器6aをブロック図で表すと図5Bのようになる。同図において、推定器6aのモデルパラメータA, B, C及び推定器ゲインLを適切に定めることにより、出口温度Tout1\_h, Tout2\_hを推定できる。

50

## 【0034】

本実施形態により、加温槽の出口温度を検出するセンサを一部省略しても、出口温度を推定して、流体温度を制御することができる。

## 【0035】

本実施形態に係る推定器6aを、一般式を用いて説明すると、以下の通りである。

## 【0036】

m入力、1出力の制御対象のモデルは、以下の式(1)で表される。

## 【数1】

$$\begin{aligned}\dot{x} &= Ax + Bu \\ y &= Cx \\ x: n \times 1 & \quad A: n \times n \quad B: n \times m \quad C: l \times n\end{aligned}\cdots(1)$$

10

ここで、(C, A)が可観測であれば推定器が構成でき、xの推定値をx\_hとすれば、式(2)で表される。

## 【数2】

$$\dot{x}_h = Ax_h + Bu + K(y - Cx_h) \cdots(2)$$

## 【0037】

ところで、第1の実施形態のような推定器を用いて出口温度Tout1\_hを推定する場合、推定器6のモデルパラメータを、制御対象の実パラメータと完全に一致するよう定めることは難しく、モデル化誤差が生じる。また、現実の制御対象には、何らかの外乱が加わっている場合もある。このような場合、推定器は正しい温度を推定することができず、制御部は誤差を含んだ推定温度を目標温度に追従させようするために、最終的な目標温度に対してオフセットが残ってしまうことがある。そこで、以下に説明する第2～第4の実施形態では、推定器6を設計する際に、モデルパラメータを厳密に一致させなくても、オフセットを除去できるような手法を採用している。

20

## 【0038】

まず、第2の実施形態では、第1の実施形態とは推定器の構成が異なる。すなわち、第2の実施形態では、モデル化誤差及び現実の外乱をまとめて「仮想的な外乱」として推定し、これを差し引くことによって相殺している。図6を用いて、基本的な考え方を説明する。

30

## 【0039】

外乱の存在を仮定したとき、制御対象及び推定器を一般的なブロック図で示すと、図6に示すようになる。ここで、仮想的な外乱が、制御対象の入力にステップ状に加わると仮定し、仮想的な外乱を考慮したモデルを構築すると、推定器は温度の推定と同時に外乱の推定を行うことができる。このブロック図において、推定器で推定された外乱d\_hを入力信号uから差し引くことにより、制御対象及び推定器モデルに加わる外乱が相殺され、制御対象は推定器モデルと等価な挙動を示し、正確な出口温度を推定することができるようになる。

## 【0040】

40

図7及び図8は、上記のような考え方に基づいて設計された、第2の実施形態に係る温度制御装置1のブロック図と、推定器6bのブロック図である。

## 【0041】

すなわち、図7に示すように、制御対象Aにおいて、入力温度Tin, 個別制御部51a, 51bからの操作量MV1, MV2に対して、それぞれ仮想的な外乱d1～d3の存在が仮定されている。そこで、図8に示す推定器6bは、第1の実施形態の場合と同様に加温槽15の出口温度Tout1\_h, Tout2\_hを推定する。さらに本実施形態の推定器6bは、これに加えて、それぞれの外乱d1\_h～d3\_hを推定する。そして、図8bに示すように、推定された外乱は、推定器6b内で、入力温度Tin及び操作量MV1, MV2に加えられている。さらに、入力温度Tin, 個別制御部51からの操作量

50

MV1, MV2から、推定された外乱  $d_1 \sim d_3$  を引いた値が、実際の制御対象Aへの修正された操作量となる。

【0042】

これにより、モデル化誤差及び外乱がキャンセルされ、加温槽15aの出口温度を正確に推定することができ、その結果、本実施形態でも、より容易かつ正確に流体を目標温度に制御することができる。

【0043】

本実施形態に係る推定器6bを、一般式を用いて説明すると、以下の通りである。

【0044】

$m$ 入力、 $l$ 出力の制御対象のモデルは、上述した式(1)で表される。

10

【0045】

ここで、ステップ状外乱  $d (m \times 1) = [d_1 \ d_2 \ \dots \ d_m]^T$  がすべての入力に加わると考えると外乱をモデルに含めた拡大系は式(3)(4)で表される。

【数3】

$$\dot{x} = Ax + Bu + Bd \quad \cdots (3)$$

【数4】

$$\begin{bmatrix} \dot{x} \\ \dot{d} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A & B \\ 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ d \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} B \\ 0 \end{bmatrix} u$$

20

$$y = \begin{bmatrix} C & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ d \end{bmatrix} \quad \cdots (4)$$

$$\begin{bmatrix} A & B \\ 0 & 0 \end{bmatrix} : (n+m) \times (n+m) \quad \begin{bmatrix} B \\ 0 \end{bmatrix} : (n+m) \times m \quad [C \ 0] : l \times (n+m)$$

ここで、

【数5】

$$\left( \begin{bmatrix} C & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} A & B \\ 0 & 0 \end{bmatrix} \right)$$

30

が可観測であれば推定器が構成でき、 $x$ 、 $d$ の推定値をそれぞれ  $\hat{x}$ 、 $\hat{d}$ 、推定器ゲインを  $L_x$ 、 $L_d$  とすれば、式(5)で表される。

【数6】

$$\begin{bmatrix} \hat{\dot{x}} \\ \hat{\dot{d}} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A & B \\ 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \hat{x} \\ \hat{d} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} B \\ 0 \end{bmatrix} u + \begin{bmatrix} Lx \\ Ld \end{bmatrix} \left( y - \begin{bmatrix} C & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \hat{x} \\ \hat{d} \end{bmatrix} \right) \quad \cdots (5)$$

【0046】

40

ここで、モデルパラメータ  $A$ 、 $B$ 、 $C$ 、及び推定器ゲイン  $L$  は、いずれも流量の関数として表すことができる。従って、モデルパラメータ  $A$ 、 $B$ 、 $C$ 、及び推定器ゲイン  $L$  は、流量センサ13が測定した単位時間あたりの流入量に基づいて定まる。これは、すべての実施形態において共通である。

【0047】

つぎに、第3の実施形態について説明する。

【0048】

本実施形態では、例えば、複数の加温槽が直列に接続されており、各加温槽では、同じ上昇温度  $T$  を持つそれぞれの目標値に加熱されるような場合について考える。例えば、図4のような構成を備えた温度制御装置において、入口温度20、加温槽15aの目

50

標温度が 30 、加温槽 15 b の目標温度（最終目標温度）が 40 であるような場合である。このとき、制御部 5 は、各ヒータ 25 a、25 b に対しては等しい操作量を出力して、各ヒータ 25 a、25 b を同じように動作させる必要がある。

#### 【0049】

ところが、加温槽 15 a の出口温度の推定値に誤差があると、各ヒータ 25 a、25 b への操作量がばらつき、その結果、最終目標温度に到達できずオフセットが残ってしまうことがある。例えば 2 つのヒータで加熱する場合を考えると、下流のヒータ 25 b は 100 % の出力で加熱しているが、流体の温度は最終目標温度に到達していない。このとき、上流のヒータ 25 a は 80 % の出力を出したところで、誤差を持った推定温度が目標温度に到達してしまうと、上流のヒータ 25 a は 80 % の出力のままで維持され、残り 20 % の能力を持ちながら、さらなる加熱ができない。10

#### 【0050】

そこで、本実施形態では、図 9 にブロック図で示すような推定器 6 c を、以下のような条件で設計する。すなわち、本実施形態では、複数の加温槽 15 a, 15 b の加熱温度幅が等しいとき、各ヒータ 25 a, 25 b に対して与える操作量 MV1, MV2 を、常に等しくする必要がある点に着目する。つまり、本実施形態では、すべての加温槽が共通の動特性を持つものとしてモデル化（モデル 1, 2）するとともに、同一の操作量に対しては同一の温度を推定するように推定器を設計する。

#### 【0051】

この結果、現実の出口温度と推定温度とが一致せず、修正動作が加わる場合には、すべての加温槽のモデルに同じ修正動作が加わるので、同一の入力に対しては常に同じ温度が推定されることになる。従って、常に操作量が等しくなり、オフセットをなくすことができる。20

#### 【0052】

つまり、上述の設計方針は、図 9 のブロック図において、ゲイン  $L_1 = L_2$  となるように設計することを意味する。これにより、推定される出口温度  $T_{out1\_h}$  には、依然として誤差が残るが、各加温槽 15 a, 15 b のモデルが共通であり、かつ同一量の誤差修正が行われるため、各ヒータ 25 a, 25 b に対する操作量 MV1, MV2 が等しくなる。その結果、最終目標温度に対するオフセットを解消することが可能となり、より容易かつ正確に流体を目標温度に制御することができる。30

#### 【0053】

なお、第 3 の実施形態に係る温度制御装置 1 のブロック図、及び推定器 6 c のブロック図は、それぞれ、図 4 及び図 5 に示す第 1 の実施形態と同じものとなり、推定器のゲインが上述のように定められる。

#### 【0054】

本実施形態に係る推定器 6 c を、一般的な式を用いて説明すると、以下の通りである。

#### 【0055】

m 入力、1 出力の制御対象のモデルは、上述した式(1)で表される。ここで、(C, A) が可観測であれば推定器を構成でき、x の推定値  $x\_h$  は、式(6)で表される。

#### 【数 7】

$$\dot{x}\_h = Ax\_h + Bu + L(y - Cx\_h) \quad \dots (6)$$

ここで、

$$\text{入力 } u = [T_{in} \quad MV_1 \quad MV_2 \quad \dots \quad MV_{m-1}]^T \quad \dots (7)$$

$$\text{推定器ゲイン } L = [L_1 \quad L_2 \quad \dots \quad L_{m-1}]^T \quad \dots (8)$$

のとき、推定器ゲインを

$$L_2 = L_3 = \dots = L_{m-1} \quad \dots (9)$$

となるように設計する。40

#### 【0056】

次に、第4の実施形態について説明する。本実施形態は、第3の実施形態の考え方につき、さらに外乱を取り入れた実施形態である。

**【0057】**

図10に、第4の実施形態に係る制御対象及び推定器6eのブロック図を示す。すなわち、本実施形態は、制御対象のすべての入力に対して等しい仮想的な外乱dが加わったものと仮定して、各加温槽15a, 15bをモデル化し(モデル1, 2)、出口温度及び外乱を推定するものである。ここで重要なのは、修正項が第3の実施形態では推定器ゲインによる推定誤差のフィードバックのみであったのに対して、本実施形態では、外乱を推定することによって修正項による積分要素61eが負荷されている点である。

**【0058】**

これにより、本実施形態では、各モデル1, 2の操作量に、この推定誤差の積分値に基づく修正が等しくかかるため、第3の実施形態のように推定器ゲインを等しくするように設計する手間が要らない。なお、本実施形態では、第2の実施形態と異なり、ヒータ25a, 25bへの操作量MV1, MV2から、推定した仮想的な外乱dを差し引かない。

**【0059】**

第4の実施形態に係る温度制御装置1のブロック図、及び推定器6eのブロック図を、図11及び図12に示す。

**【0060】**

図11に示すように、制御対象Aにおいて、入力温度Tin, 個別制御部51a, 51bからの操作量MV1, MV2に対して、それぞれ共通の外乱dの存在が仮定されている。そこで、図12Aに示す推定器6eは、加温槽15の出口温度Tout1\_h, Tout2\_hを推定する。さらに本実施形態の推定器6eは、上述した積分要素61eを備えた構成となっており、現実の出口温度Tout2と推定値Tout2\_hとの誤差の積分値を求め、これを外乱d\_hと推定する。そして、図12Bに示すように、推定された外乱d\_hは、推定器6e内で、入力温度Tin及び操作量MV1, MV2に加えられている。

**【0061】**

これにより、第3の実施形態のようにゲインが同じになるように推定器を設計しなくても、修正された操作量は常に同一となり、推定温度誤差に起因する、最終目標温度に対するオフセットを取り除くことができる。さらに、積分値である外乱d\_hにより操作量が調整されるので、第3の実施形態のときのように、応答性や安定性の制約を受けることなく設計できる。

**【0062】**

次に、本実施形態に係る推定器6eを、一般的な式を用いて説明すると、以下の通りである。

**【0063】**

m入力、1出力の制御対象のモデルは、上述した式(1)で表される。ここで、(C, A)が可観測であれば推定器を構成でき、xの推定値x\_hは、式(6)で表される。

ここで、同じ外乱d:1×1がすべての入力に加わると考えると、外乱をモデルに含めた拡大系は式(10)(11)で表される。

**【数8】**

$$\dot{x} = Ax + Bu + Bd \quad \cdots (10)$$

10

20

30

40

## 【数9】

$$\begin{bmatrix} \dot{x} \\ \dot{d} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A & B' \\ 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ d \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} B \\ 0 \end{bmatrix} u$$

$$y = [C \quad 0] \begin{bmatrix} x \\ d \end{bmatrix}$$

$$B' = \begin{bmatrix} \sum_{j=1}^m b_{1j} \\ \sum_{j=1}^m b_{2j} \\ \vdots \\ \sum_{j=1}^m b_{nj} \end{bmatrix} \quad B' : n \times 1 \quad b_{ij} (i = 1 \dots n, j = 1 \dots m) \text{ は } B \text{ の要素}$$

$$\begin{bmatrix} A & B' \\ 0 & 0 \end{bmatrix} : (n+1) \times (n+1) \quad \begin{bmatrix} B \\ 0 \end{bmatrix} : (n+m) \times m \quad [C \quad 0] : l \times (n+m)$$

このとき、

## 【数10】

$$\left( [C \quad 0] \begin{bmatrix} A & B' \\ 0 & 0 \end{bmatrix} \right)$$

10

が可観測であれば推定器が構成でき、x、dの推定値をそれぞれx\_h、d\_h、推定器ゲインをLx、Ldとすれば、式(12)で表される。

## 【数11】

$$\begin{bmatrix} \hat{x} \\ \hat{d} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A & B' \\ 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \hat{x} \\ \hat{d} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} B \\ 0 \end{bmatrix} u + \begin{bmatrix} Lx \\ Ld \end{bmatrix} \left( y - [C \quad 0] \begin{bmatrix} \hat{x} \\ \hat{d} \end{bmatrix} \right)$$

20

30

## 【0064】

つぎに、図13は、上述した温度制御装置1の処理手順を示すフローチャートである。この処理手順は、特に各実施形態の個別の事情に言及する場合を除き、上述した各実施形態に共通である。同図を参照しながらこの処理手順について説明する。

## 【0065】

まず、制御部5の初期化を行った後、制御を開始する(S11、S12)。

## 【0066】

次に、流量センサ13、入口温度センサ14及び出口温度センサ16が測定した単位時間あたりの流量、入口温度Tin、及び出口温度tout2を取得するとともに、制御部5が決定する操作量MV1、MV2を取得する(S13)。この操作量MV1、MV2は以下に説明するステップS16で算出される。

40

## 【0067】

ここで、流量に応じて推定器6のパラメータを調整した後(S14)、推定器6が、入口温度Tin、最終出口温度tout2、及び操作量MV1、MV2を入力として、推定を行う(S15)。推定する値は、既に述べた通り、各実施形態により予め定められている。

## 【0068】

そして、各加温槽15a、15bの出口の目標温度SV1、SV2と、実測した出口温度tout2または推定した出口温度tout1\_hとの温度偏差を算出して、各個別制御部51が操作量MV1、MV2を算出する(S16、S17)。そして、この操作量M

50

V1, MV2をヒータ25a、25bへ出力する(S18)。ここで、第2の実施形態では、推定器が算出した外乱d\_hが、Tin, MV1, MV2から差し引かれる。

#### 【0069】

上述した本発明に係る各実施形態によれば、流体の温度制御装置において、制御の自由度を損なわずに、温度センサの個数を抑制することができる。

#### 【0070】

上述した本発明の実施形態は、本発明の説明のための例示であり、本発明の範囲をそれらの実施形態にのみ限定する趣旨ではない。当業者は、本発明の要旨を逸脱することなしに、他の様々な態様で本発明を実施することができる。

#### 【図面の簡単な説明】

10

#### 【0071】

【図1】本発明の一実施形態に係る温度制御装置1の構成を概略的に示す図である。

【図2】加温槽15の縦断面図である。

【図3】加温槽15の横断面図である。

【図4】第1の実施形態に係る温度制御装置1のブロック図である。

【図5】第1の実施形態に係る推定器6aのブロック図である。

【図6】第2の実施形態の設計方針の説明図である。

【図7】第2の実施形態に係る温度制御装置1のブロック図である。

【図8】第2の実施形態に係る推定器6bのブロック図である。

【図9】第3の実施形態に係る温度制御装置1のブロック図である。

20

【図10】第4の実施形態に係る温度制御装置1のブロック図である。

【図11】第4の実施形態に係る温度制御装置1のブロック図である。

【図12】第4の実施形態に係る推定器6eのブロック図である。

【図13】本実施形態に係る温度制御装置1の処理手順を示すフローチャートである。

#### 【符号の説明】

#### 【0072】

1 温度制御装置

5 制御部

6 推定器

10 流路

30

11 流入口

12 流量調節弁

13 流量センサ

14 入口温度センサ

15a, 15b 加温槽

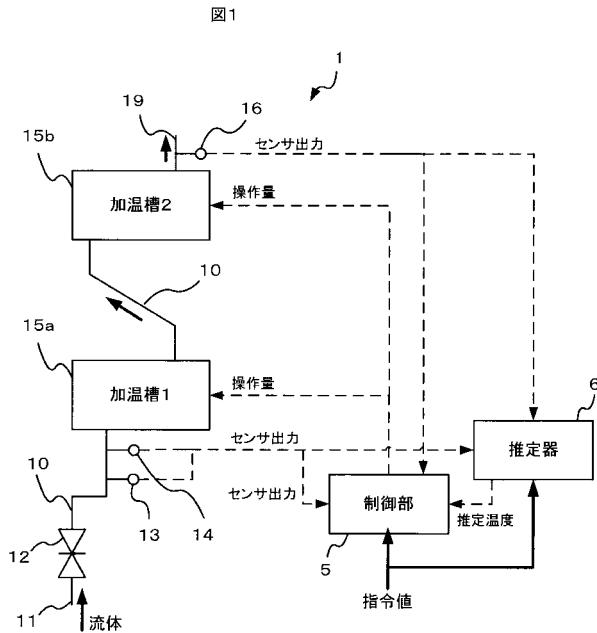
16 出口温度センサ

19 流出口

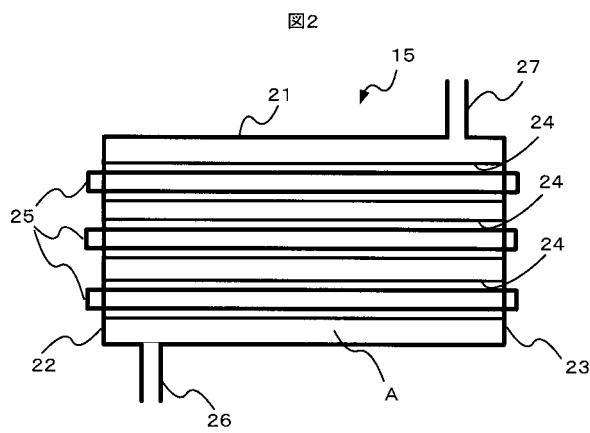
25a, 25b ヒータ

51a, 51b 個別制御部

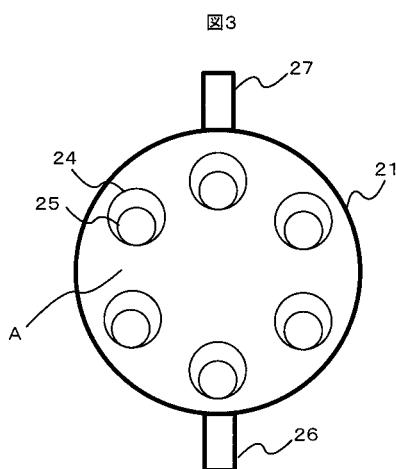
【図1】



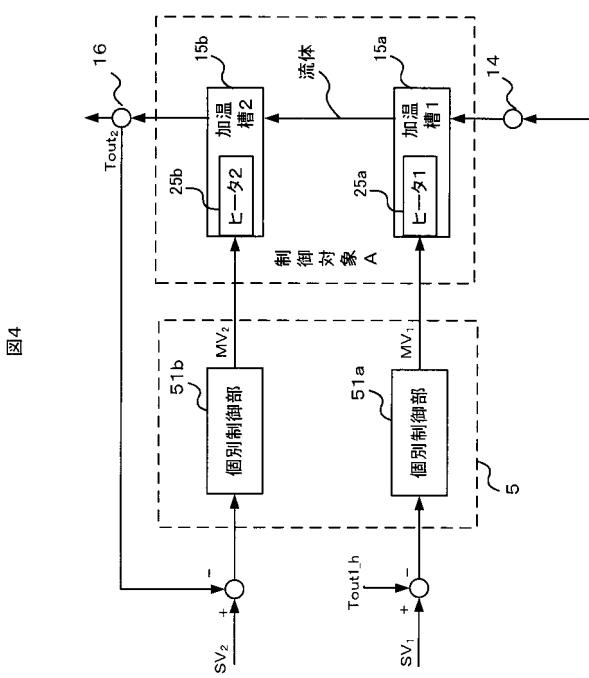
【図2】



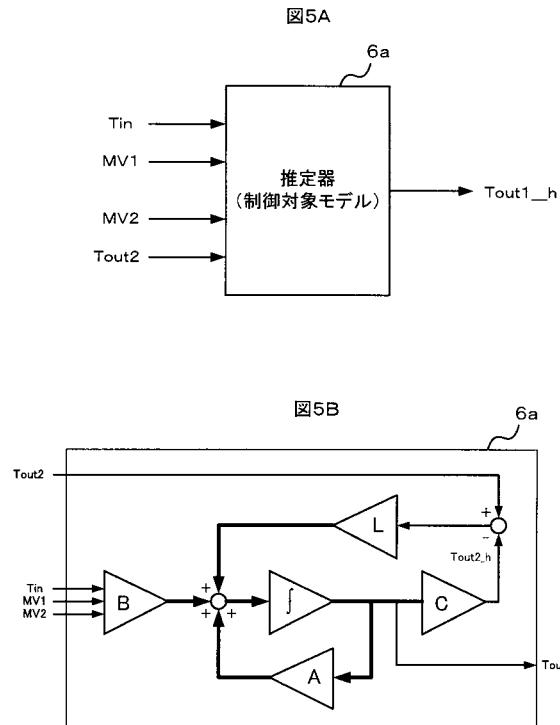
【図3】



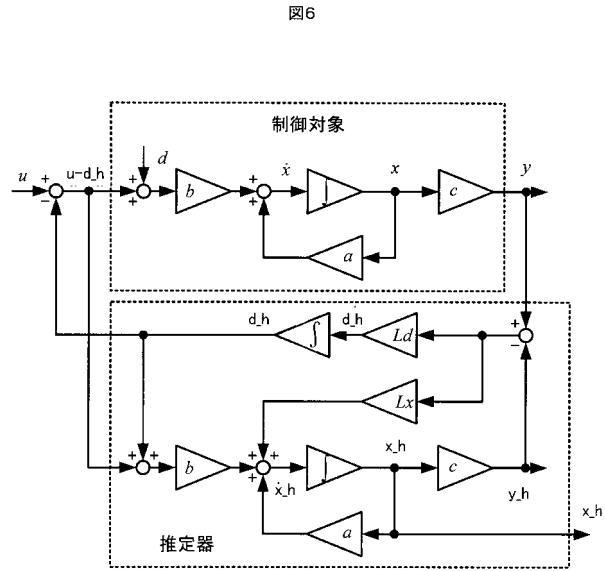
【図4】



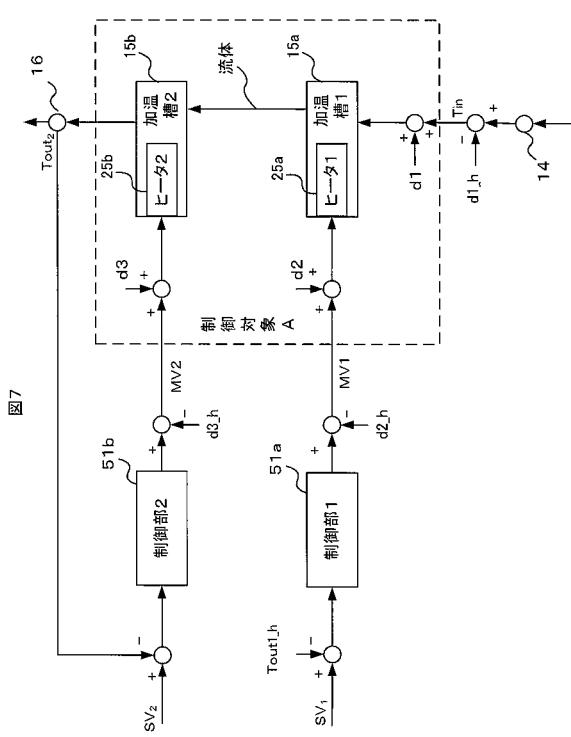
【図5】



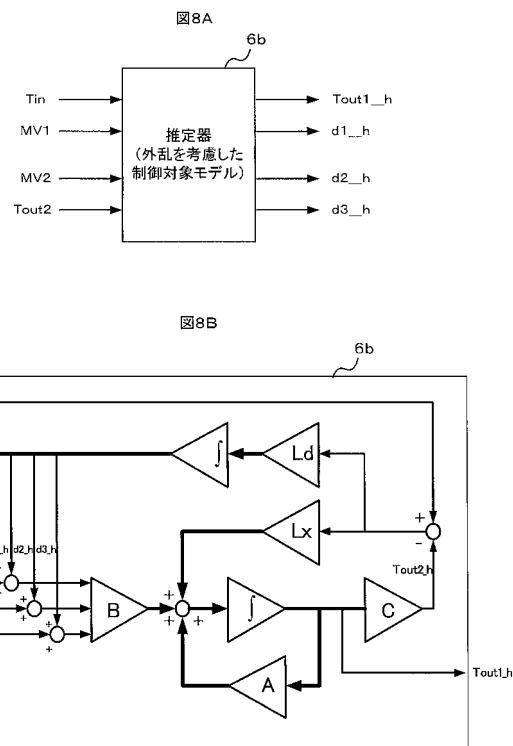
【図6】



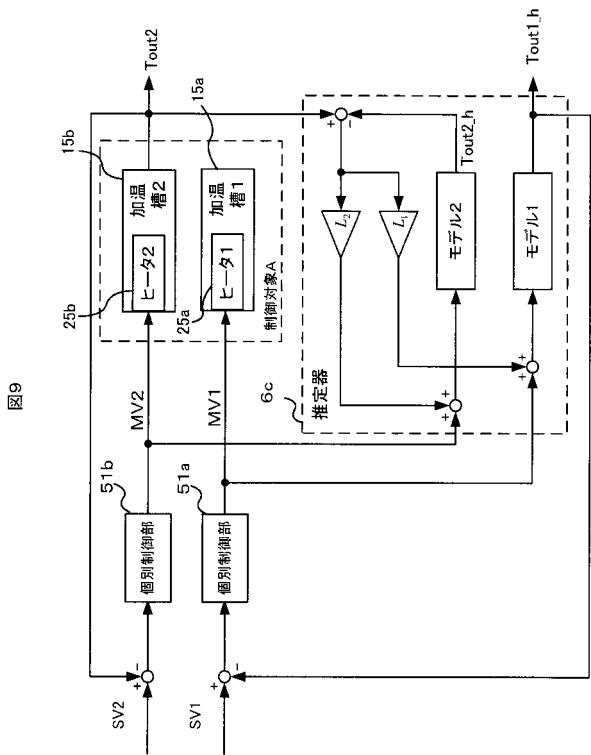
【図7】



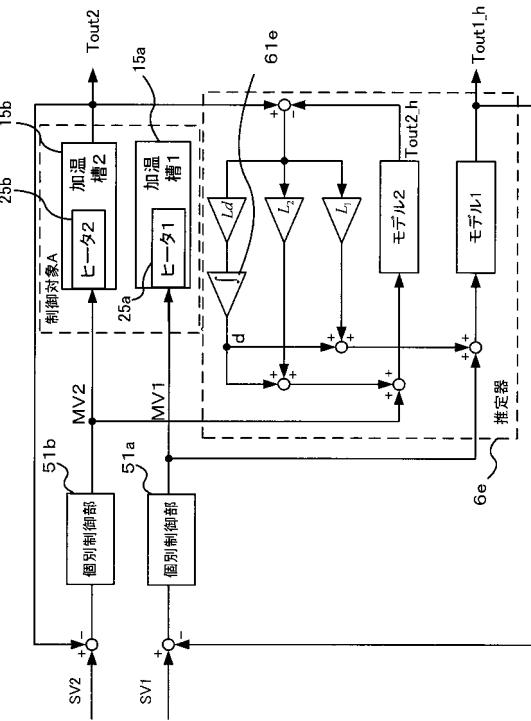
【図8】



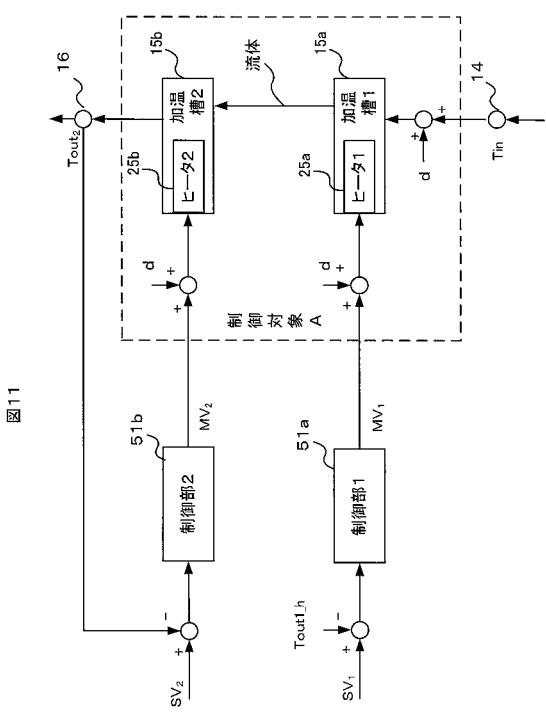
【図9】



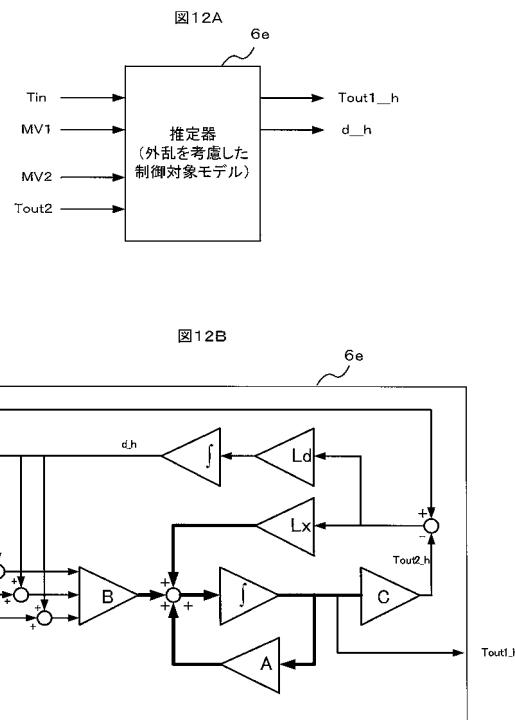
【図10】



【図11】

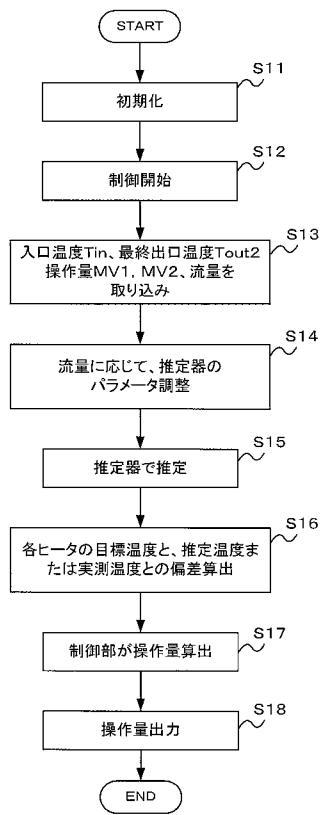


【図12】



【図13】

図13



---

フロントページの続き

(56)参考文献 特開平11-338506(JP,A)  
特開平11-83175(JP,A)  
特開平11-63624(JP,A)  
特開2005-148849(JP,A)  
特開平8-207619(JP,A)  
特開平11-62675(JP,A)  
特開平11-99850(JP,A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

G 05 D 23 / 00  
F 24 H 1 / 10  
F 24 F 11 / 02