

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第6981894号
(P6981894)

(45) 発行日 令和3年12月17日(2021.12.17)

(24) 登録日 令和3年11月22日(2021.11.22)

(51) Int.Cl.		F I			
F O 2 K	9/86	(2006.01)	F O 2 K	9/86	
G O 5 D	16/20	(2006.01)	G O 5 D	16/20	Z
B 6 4 G	1/26	(2006.01)	B 6 4 G	1/26	B

請求項の数 10 (全 15 頁)

(21) 出願番号	特願2018-31105 (P2018-31105)	(73) 特許権者	000006208
(22) 出願日	平成30年2月23日 (2018.2.23)		三菱重工業株式会社
(65) 公開番号	特開2019-143594 (P2019-143594A)		東京都千代田区丸の内三丁目2番3号
(43) 公開日	令和1年8月29日 (2019.8.29)	(74) 代理人	100205350
審査請求日	令和2年12月10日 (2020.12.10)		弁理士 狩野 芳正
		(74) 代理人	100117617
			弁理士 中尾 圭策
		(72) 発明者	奥村 幸弘
			東京都港区港南二丁目16番5号 三菱重工業株式会社内
		(72) 発明者	長瀬 正明
			東京都港区港南二丁目16番5号 三菱重工業株式会社内
		審査官	高吉 統久

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 スラスト制御装置及びスラスト制御方法

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

スラストから噴出される燃焼ガスの量を調整する弁に設けられた弁体に加える作用力と、噴出される前記燃焼ガスから前記弁体に加えられる流体力とのバランスに基づき、前記弁が開かれている割合を示す前記弁の推定開度を推定する開度推定部と、

前記推定開度に基づき、前記弁の開度を制御するための制御開度を決定する開度制御部と、

を備え、

前記開度推定部は、

前記弁体の加速度と、前記作用力とに基づき、前記流体力を算出し、
前記流体力に基づき、前記推定開度を算出する

10

スラスト制御装置。

【請求項2】

前記開度推定部は、

噴出される前記燃焼ガスから前記弁体に加えられる前記流体力に対する前記弁の開度を示す開度データを保持し、

前記加速度に基づき、前記弁に前記加速度を与えることのできる加速力を算出し、
前記加速力を、前記作用力から減算することで、前記流体力を算出し、
前記開度データに基づき、前記流体力から前記推定開度を推定する

請求項1に記載のスラスト制御装置。

20

【請求項 3】

弁体制御部をさらに備え、
前記弁体制御部は、
前記弁体に前記作用力を加えて、前記弁の開閉を制御する駆動部と、
前記弁体の速度を検知する検知部と、
を備え、
前記開度推定部は、前記速度に基づき、前記加速度を算出し、
前記駆動部は、前記制御開度に基づき、前記弁の開閉を制御する
請求項 1 または 2 に記載のスラスト制御装置。

【請求項 4】

前記弁体制御部を複数備え、
前記開度推定部は、前記複数の弁体制御部の各々に対して前記推定開度を推定し、
前記開度制御部は、前記各弁体制御部に対して前記制御開度を決定する
請求項 3 に記載のスラスト制御装置。

10

【請求項 5】

スラストから噴出される前記燃焼ガスを内部に備える燃焼室と、
前記燃焼室の内部の圧力値を検知する圧力検知部と、
をさらに備え、
前記開度制御部は、前記圧力値と、前記各弁体制御部に対する前記推定開度とに基づき
、前記各弁体制御部に対する前記制御開度を決定する
請求項 4 に記載のスラスト制御装置。

20

【請求項 6】

前記開度制御部は、
前記各弁体制御部の前記駆動部の前記作用力により設定された前記弁の設定開度を保持し、
前記圧力値から、設定されている圧力値を減算し、圧力補正值を算出し、
前記各弁体制御部に対して、前記推定開度から前記設定開度を減算して得られる補正
開度を算出し、
前記圧力補正值と、前記複数の弁体制御部の前記補正開度の総和に対する前記各弁体
制御部の前記補正開度の割合とに基づき、前記各弁体制御部に対する前記制御開度を決定
する
請求項 5 に記載のスラスト制御装置。

30

【請求項 7】

前記開度制御部は、
前記圧力補正值と前記補正開度の総和に対する前記各弁体制御部の前記補正開度の割
合との積と、前記弁を開くべき割合を示す目標開度とに基づき、前記制御開度を算出する
請求項 6 に記載のスラスト制御装置。

【請求項 8】

前記駆動部は、電流を流して前記作用力を発生させるモータを備え、
前記開度推定部は、前記電流の値に基づき、前記作用力を算出する
請求項 3 から 7 のいずれか 1 項に記載のスラスト制御装置。

40

【請求項 9】

前記推定開度は、推定される前記弁体の位置により規定し、
前記制御開度は、前記弁体を移動すべき位置により規定する
請求項 1 から 8 のいずれか 1 項に記載のスラスト制御装置。

【請求項 10】

スラストから噴出される燃焼ガスの量を調整する弁に設けられた弁体に加える作用力と
、噴出される前記燃焼ガスから前記弁体に加えられる流体力とのバランスに基づき、前記
弁が開かれている割合を示す前記弁の推定開度を推定するステップと、
前記推定開度に基づき、前記弁の開度を制御するための制御開度を決定するステップと

50

、
を含み、
前記推定開度を推定するステップは、
前記弁体の加速度と、前記作用力とに基づき、前記流体力を算出することと、
前記流体力に基づき、前記推定開度を算出することと、
を含む
 スラスタ制御方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

10

【0001】

スラスタ制御装置及びスラスタ制御方法に関するものである。

【背景技術】

【0002】

大気中または宇宙空間を飛行する飛しょう体の軌道、姿勢などを制御するために、サイドスラスタを用いた技術が用いられている。

【0003】

特許文献1には、燃焼室内の圧力を制御するために、複数のサイドスラスタの各々に設けられたピントル弁を、各々のサイドスラスタの位置に基づき、制御することが記載されている。また、機体の加速度センサを用いて検知した加速度に基づき、制御することが記載されている。

20

【0004】

特許文献2には、油圧シャベルなどの建設機器に用いられるスプール弁において、弁体を移動させるために用いた電流値を検出し、油圧を計測する技術が開示されている。計測した油圧に基づき、スプール弁を開いた際に注入する油の量を決定する。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0005】

【特許文献1】特開2014-104894号公報

【特許文献2】特開2001-182719号公報

30

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0006】

スラスタの駆動時には、スラスタに設けられた弁は高温になり変形する。スラスタの推進力等を精度よく制御するには、各弁の開度を把握する必要がある。しかし、弁の変形により、スラスタの駆動中に開度を把握するのは難しい。そこで、この変形を考慮して開度を設定するため、熱による変形の影響を事前に燃焼試験で取得し、すべての弁に共通に補正を行う方法が行われている。しかし、実際の飛しょう体の軌道、姿勢などを制御する場合と燃焼試験とでは、燃焼時間、環境などが異なるため、開度に誤差が生じる。

【0007】

40

以上のような状況を鑑み、本発明は、スラスタの駆動中において、精度よくスラスタの推進力を制御することを目的の1つとする。他の目的については、以下の記載及び実施の形態の説明から理解することができる。

【課題を解決するための手段】

【0008】

以下に、発明を実施するための形態で使用される番号・符号を用いて、課題を解決するための手段を説明する。これらの番号・符号は、特許請求の範囲の記載と発明を実施するための形態との対応関係の一例を示すために、参考として、括弧付きで付加されたものである。よって、括弧付きの記載により、特許請求の範囲は、限定的に解釈されるべきではない。

50

【 0 0 0 9 】

上記目的を達成するため、本発明の第1の態様に係るスラスタ制御装置は、開度推定部(61)と、開度制御部(62)とを備える。開度推定部(61)は、スラスタ(1)から噴出される燃焼ガスの量を調整する弁(31)に設けられた弁体(32)に加える作用力と、噴出される燃焼ガスから弁体(32)に加えられる流体力(41)とのバランスに基づき、弁(31)が開かれている割合を示す弁(31)の推定開度を推定する。開度制御部(62)は、推定開度に基づき、弁(31)の開度を制御するための制御開度を決定する。

【 0 0 1 0 】

前述の開度推定部(61)は、弁体(32)の加速度と、作用力とに基づき、流体力(41)を算出してもよい。この場合、流体力(41)に基づき、推定開度を算出する。

10

【 0 0 1 1 】

前述の開度推定部(61)は、噴出される燃焼ガスから弁体(32)に加えられる流体力(41)に対する弁(31)の開度を示す開度データを保持してもよい。この場合、前述の開度推定部(61)は、加速度に基づき、弁(31)に加速度を与えることのできる加速力を算出する。また、加速力を、作用力から減算することで、流体力(41)を算出する。前述の開度推定部(61)は、開度データに基づき、流体力(41)から推定開度を推定する。

【 0 0 1 2 】

前述のスラスタ制御装置は、弁体制御部(100)をさらに備えてもよい。この弁体制御部(100)は、駆動部(55)と検知部(51)とを備えてもよい。駆動部(55)は、弁体(32)に作用力を加えて、弁(31)の開閉を制御してもよい。検知部(51)は、弁体(32)の速度を検知してもよい。この場合、開度推定部(61)は、速度に基づき、加速度を算出する。また、駆動部(55)は、制御開度に基づき、弁(31)の開閉を制御する。

20

【 0 0 1 3 】

前述のスラスタ制御装置は、前述の弁体制御部(100)を複数備えてもよい。開度推定部(61)は、各々の弁体制御部(100)に対して推定開度を推定してもよい。開度制御部(62)は、各々の弁体制御部(100)に対して制御開度を決定してもよい。

【 0 0 1 4 】

前述のスラスタ制御装置は、燃焼室(12)と、圧力検知部(13)とを備えてもよい。燃焼室(12)は、スラスタから噴出される燃焼ガスを内部に備えてもよい。圧力検知部(13)は、燃焼室(12)の内部の圧力値を検知してもよい。また、開度制御部(62)は、圧力値と、各々の弁体制御部(100)に対する推定開度とに基づき、各々の弁体制御部(100)に対する制御開度を決定してもよい。

30

【 0 0 1 5 】

前述の開度制御部(62)は、各々の弁体制御部(100)の駆動部(55)の作用力により設定された弁(31)の設定開度を保持してもよい。また、圧力値から、設定されている圧力値を減算し、圧力補正值を算出してもよい。さらに、各々の弁体制御部(100)に対して、推定開度から設定開度を減算して得られる、各々の弁体制御部(100)に対する補正開度を算出してもよい。また、開度制御部(62)は、圧力補正值と、補正開度の総和に対する各々の補正開度の割合とに基づき、各々の弁体制御部(100)に対する制御開度を決定してもよい。

40

【 0 0 1 6 】

前述の開度制御部(62)は、圧力補正值と補正開度の総和に対する各々の補正開度の割合との積と、弁(31)を開くべき割合を示す目標開度とに基づき、制御開度を算出してもよい。

【 0 0 1 7 】

前述の駆動部(55)は、電流を流して作用力を発生させるモータを備えてもよい。開度推定部(61)は、電流の値に基づき、作用力を算出してもよい。

50

【 0 0 1 8 】

前述の推定開度は、推定される弁体（ 3 2 ）の位置により規定してもよい。また、制御開度は、弁体（ 3 2 ）を移動すべき位置により規定してもよい。

【 0 0 1 9 】

本発明の第 2 の態様に係るスラスタの制御方法は、スラスタから噴出される燃焼ガスの量を調整する弁（ 3 1 ）に設けられた弁体（ 3 2 ）に加える作用力と、噴出される燃焼ガスから弁体（ 3 2 ）に加えられる流体力（ 4 1 ）とのバランスに基づき、弁（ 3 1 ）が開かれている割合を示す弁（ 3 1 ）の推定開度を推定するステップと、推定開度に基づき、弁（ 3 1 ）の開度を制御するための制御開度を決定するステップと、を含む。

【 発明の効果 】

10

【 0 0 2 0 】

本発明によれば、スラスタの推進力の制御を精度よく行うことができる。

【 図面の簡単な説明 】

【 0 0 2 1 】

【 図 1 】実施の形態に係るスラスタ制御装置を含むスラスタの模式図である。

【 図 2 】ガスジェネレータを省略した図 1 の A - A 断面図である。

【 図 3 】図 2 の弁の拡大図である。

【 図 4 】図 2 の弁体に加えられる流体力と、弁体と弁座との距離との関係を示すグラフである。

【 図 5 】図 1 の制御部の機能を説明するための図である。

20

【 図 6 】図 1 の制御部のハードウェア構成の一例を示す図である。

【 図 7 】実施の形態に係るスラスタ制御装置の処理に関するフロー図である。

【 図 8 】図 7 の処理を説明するために例示した各弁に設定した開度を示す図である。

【 図 9 】図 7 の処理を説明するために例示した推定した各弁の開度を示す図である。

【 図 1 0 】図 7 の処理を説明するために例示した弁ごとに算出した開度の補正值を示す図である。

【 図 1 1 】図 7 の処理を説明するために例示した燃焼室の圧力により修正した各弁の開度の補正值を示す図である。

【 図 1 2 】図 7 の処理を説明するために例示した各弁に設定すべき開度を示す図である。

【 図 1 3 】燃焼室の圧力について、実施の形態の性能評価に関する結果を示すグラフである。

30

【 図 1 4 】ノズルの推力について、実施の形態の性能評価に関する結果を示すグラフである。

【 図 1 5 】ノズルの推力について、実施の形態の性能評価に関する結果を示すグラフである。

【 図 1 6 】図 1 の弁の変形例の模式図である。

【 図 1 7 】流体力と開度との関係を示す推定データを説明するための図である。

【 発明を実施するための形態 】

【 0 0 2 2 】

（実施の形態）

40

実施の形態に係るスラスタ 1 は、図 1、2 に示すように、ガスジェネレータ 1 0 と、複数のノズル 3 0 - 1、3 0 - 2、3 0 - 3、・・・と、制御部 6 0 とを備える。複数のノズル 3 0 - 1、3 0 - 2、3 0 - 3、・・・を総称して、ノズル 3 0 と呼ぶ。ガスジェネレータ 1 0 には、燃焼ガスが満たされ、ノズル 3 0 に供給される。ノズル 3 0 に供給される燃焼ガスの量を制御部 6 0 が制御する。この結果、飛しょう体の軌道、姿勢などが制御される。

【 0 0 2 3 】

ガスジェネレータ 1 0 の内部には、燃焼室 1 2 が設けられ、固体燃料 1 1 が配置されている。飛しょう体の軌道、姿勢などを制御するとき、固体燃料 1 1 を燃焼させ、発生する燃焼ガスをノズル 3 0 に供給する。具体的には、固体燃料 1 1 が燃焼すると、燃焼ガスが

50

発生する。このため、燃焼室 1 2 は燃焼ガスで満たされる。燃焼ガスは、燃焼室 1 2 の壁面 1 2 b に設けられた通気口から排出され、ノズル 3 0 に供給される。

【 0 0 2 4 】

また、ガスジェネレータ 1 0 の内部には、圧力検知部 1 3 が設けられ、燃焼室 1 2 の内部の圧力値を検知する。検知した圧力値は、制御部 6 0 に通知され、ノズル 3 0 から噴射される燃焼ガスの量の制御に用いられる。

【 0 0 2 5 】

燃焼室 1 2 は、ノズル 3 0 に燃焼ガスを供給するための通気口を備える壁面 1 2 b と、壁面 1 2 b に対抗して設けられた壁面 1 2 a とを備える。燃焼室 1 2 は、例えば、壁面 1 2 a を底面とする柱状の空間である。

10

【 0 0 2 6 】

固体燃料 1 1 は、燃焼室 1 2 の内部に配置され、燃焼室 1 2 の壁面 1 2 a に接触している。また、固体燃料 1 1 と燃焼室 1 2 の壁面 1 2 b との間に空間が設けられている。飛しょう体の軌道、姿勢などを制御するとき、固体燃料 1 1 は、ノズル 3 0 側の端面に着火される。つまり、固体燃料 1 1 の燃焼面は、ノズル 3 0 側の端面から壁面 1 2 a の方向に進む。

【 0 0 2 7 】

圧力検知部 1 3 は、燃焼室 1 2 の内部に、ノズル 3 0 側の壁面 1 2 b に設けられている。このため、固体燃料 1 1 の燃焼面の位置によらず、燃焼室 1 2 の内部の圧力値を検知することができる。

20

【 0 0 2 8 】

各々のノズル 3 0 は、図 2 に示すように、弁 3 1 と、弁体制御部 1 0 0 とを備える。燃焼室 1 2 から供給される燃焼ガスは、弁 3 1 に供給される。弁体制御部 1 0 0 は弁 3 1 の開閉を制御する。弁 3 1 を開閉することで、ノズル 3 0 から噴射される燃焼ガスの量を制御する。

【 0 0 2 9 】

弁体制御部 1 0 0 は、駆動部 5 5 と、検知部 5 1 とを備える。駆動部 5 5 は、弁 3 1 の弁体 3 2 の位置を移動させることで、弁 3 1 の開閉を制御する。検知部 5 1 は、弁体 3 2 の速度を検知する。

【 0 0 3 0 】

駆動部 5 5 は、アクチュエータ 5 3 と、カムシャフト 5 2 とを備える。アクチュエータ 5 3 は、カムシャフト 5 2 に接続され、制御部 6 0 からの制御信号 3 0 5 に応じて、カムシャフト 5 2 の回転を制御する。カムシャフト 5 2 を回転させることで、弁体 3 2 の位置がその長手方向（図 2 に記載の移動方向）に移動し、弁 3 1 が開閉する。弁 3 1 が開くことで、燃焼室 1 2 から供給される燃焼ガスが、ノズル 3 0 から噴射される。

30

【 0 0 3 1 】

アクチュエータ 5 3 は、モータを備える。モータに電流を流すことで、カムシャフト 5 2 を回転するための駆動力 4 2 を発生させる。この駆動力 4 2 により、弁体 3 2 が移動する。

【 0 0 3 2 】

弁 3 1 は、ノズル 3 0 の噴出孔に設けられ、ノズル 3 0 から噴出される燃料ガスの量を調整する。弁 3 1 は、例えば、ピントル弁である。図 3 に示すように、弁 3 1 は、弁座 3 3 と、弁座 3 3 に対して移動可能に設けられた弁体 3 2 とを備える。弁体 3 2 が弁座 3 3 に当接すると、弁 3 1 は閉じられ、燃焼ガスはノズル 3 0 から噴射されない。弁体 3 2 が弁座 3 3 から離れると、弁 3 1 は開かれ、燃焼ガスはノズル 3 0 から噴射される。弁座 3 3 から弁体 3 2 の端部までの距離 L が大きくなるほど、噴射される燃焼ガスの量が増加する。つまり、距離 L が大きいほど、弁 3 1 の開度は大きい。ここで、開度とは、弁 3 1 が開かれている割合を示す。つまり、弁 3 1 が閉じている場合、開度は 0 になる。

40

【 0 0 3 3 】

弁体 3 2 には、燃焼ガスがノズル 3 0 から噴射される際に、燃焼ガスから弁 3 1 の開度

50

を大きくする方向に流体力 4 1 が加えられる。また、アクチュエータ 5 3 が発生させる駆動力 4 2 が、その逆方向に加えられる。このため、弁体 3 2 は、流体力 4 1 と駆動力 4 2 とのバランスに応じて位置を移動させる。ここで、弁体 3 2 に加えられる流体力 4 1 は、図 4 に示すように、距離 L に応じて変化する。具体的には、距離 L が大きくなるに従い、流体力 4 1 は小さくなる。このため、流体力 4 1 に対する距離 L の関係を示す距離推定データ 4 5 を用いて、流体力 4 1 に基づき、距離 L を推定することができる。

【 0 0 3 4 】

制御部 6 0 は、図 5 に示すように、弁 3 1 の開度を推定する機能を有する開度推定部 6 1 と、弁 3 1 の開度を制御する機能を有する開度制御部 6 2 とを備える。

【 0 0 3 5 】

開度推定部 6 1 は、弁体 3 2 の速度を含む速度信号 3 0 2 を検知部 5 1 から受信する。取得した速度の変化から弁体 3 2 の加速度を算出する。算出した加速度に基づき、弁体 3 2 の加速力を算出する。ここで、加速力とは、弁体 3 2 に算出した加速度を与えることのできる力をいう。また、アクチュエータ 5 3 が発生させる駆動力 4 2 を含む作用力信号 3 0 1 を駆動部 5 5 から受信する。ここで、弁体 3 2 は、流体力 4 1 と駆動力 4 2 とがつり合う位置に移動する。このため、弁体 3 2 の加速力と流体力 4 1 とを可算した合力と、駆動力 4 2 とが等しくなる。よって、駆動力 4 2 から弁体 3 2 の加速力を減算することで、流体力 4 1 を算出することができる。図 4 に示すように、流体力 4 1 に対する距離 L の関係を示す距離推定データ 4 5 を用いて、流体力 4 1 から距離 L を推定する。ここで、スラスト 1 の駆動時は弁 3 1 が変形しているため、推定した距離 L は、実際の弁座 3 3 から弁体 3 2 の端部までの距離と異なり、弁 3 1 の開度を示す指標である。このため、開度推定部 6 1 は、流体力 4 1 から距離 L を推定することで、弁 3 1 の開度を推定開度として推定する。弁 3 1 - 1、3 1 - 2、3 1 - 3、3 1 - 4 のそれぞれに対して、この推定開度を推定し、弁 3 1 の推定開度を含む推定信号 3 0 3 を生成する。ここで、距離推定データ 4 5 は、設計時の弁 3 1 の形状から算出される。また、シミュレーションを用いて、最適な値を決定してもよい。以上のように、推定開度は、弁体に加えられる駆動力 4 2 と、燃焼ガスから弁体に加えられる流体力 4 1 とのバランスに基づき推定される。

【 0 0 3 6 】

開度制御部 6 2 は、推定信号 3 0 3 に含まれる弁 3 1 の推定開度を抽出する。抽出した推定開度から、駆動部 5 5 に設定している弁 3 1 の設定開度を減算し、補正開度を算出する。設定開度とは、制御信号 3 0 5 により、現在、駆動部 5 5 に設定している弁 3 1 の開度である。例えば、駆動部 5 5 に指示している距離 L である。補正開度は、駆動部 5 5 に設定している弁 3 1 の開度と、弁 3 1 の変形により生じた、弁 3 1 の実際の開度との差の推定値である。また、補正開度は、弁 3 1 ごとに算出される。

【 0 0 3 7 】

また、開度制御部 6 2 は、圧力検知部 1 3 から、燃焼室 1 2 内部の圧力値を含む圧力信号 3 0 4 を受信する。受信した圧力値から、設定している圧力値を減算し、圧力補正值を算出する。ここで、弁 3 1 の開度を制御することで、燃焼室 1 2 内の圧力を制御する。設定している圧力値とは、この圧力の目標値を示す。つまり、圧力補正值は、圧力の目標値と、実際の圧力値との差である。

【 0 0 3 8 】

また、圧力補正值は、複数の弁 3 1 における全体の開度を表す指標である。燃焼室 1 2 には複数の弁 3 1 が接続され、弁 3 1 が開くことで燃焼室 1 2 内の燃焼ガスが噴出される。このため、弁 3 1 の開度によって、燃焼室 1 2 内部の圧力は変化する。つまり、圧力補正值は、燃焼ガスの噴出すべき量と、実際に噴出した量との差を表す指標と言える。

【 0 0 3 9 】

つまり、開度制御部 6 2 は、各弁 3 1 の補正開度と、複数の弁 3 1 における全体の開度を表す圧力補正值とを取得する。取得した補正開度と、圧力補正值とに基づき、弁 3 1 の変形により各弁 3 1 の開度の補正值を算出する。具体的には、各弁 3 1 に対して、複数の弁 3 1 の補正開度の総和に対する各弁 3 1 の補正開度の割合をそれぞれ算出する。算出し

10

20

30

40

50

た割合に圧力補正値を乗算することで、各弁 3 1 に対する補正値を取得する。

【 0 0 4 0 】

補正開度は、各弁 3 1 に応じた補正値を取得できるが、検知部 5 1 と、駆動部 5 5 とで生じるノイズの影響を受けやすい。一方、圧力補正値は、弁 3 1 の全体の開度を表すことができるが、各弁 3 1 に応じた補正値を取得できない。このため、各弁 3 1 の変形により生じる開度の変化の割合として補正開度を用いる。この結果、検知部 5 1 と、駆動部 5 5 とで生じるノイズの影響を低減することができる。

【 0 0 4 1 】

開度推定部 6 1 と、開度制御部 6 2 とを機能する制御部 6 0 は、図 6 に示すように、演算装置 4 0 0 と、記憶装置 4 0 1 と、通信部 4 0 2 とを備える。演算装置 4 0 0 は、スラスタ 1 を制御するための演算を行う。例えば、図 5 に示す開度推定部 6 1 と、開度制御部 6 2 とにおいて実行される演算を行う。記憶装置 4 0 1 は、開度推定部 6 1 と、開度制御部 6 2 とにおいてデータを保持する際に利用される。例えば、記憶装置 4 0 1 は、図 4 に示すような距離推定データ 4 5 を保持する。通信部 4 0 2 は、検知部 5 1 と、駆動部 5 5 と、圧力検知部 1 3 とのデータの送受信に用いられる。ここで、演算装置 4 0 0 は、開度推定部 6 1 と開度制御部 6 2 との処理の両方を行う中央演算装置 (CPU) を用いてもよい。また、開度推定部 6 1 と、開度制御部 6 2 とにおいて専用の演算回路を用いてもよい。また、制御部 6 0 は、データを入出力するための、入力部 4 0 3 と、出力部 4 0 4 とを備えていてもよい。入力部 4 0 3 には、マウス、キーボードなどが例示される。出力部 4 0 4 には、ディスプレイ、スピーカなどが例示される。

【 0 0 4 2 】

(制御方法)

スラスタ 1 において、弁 3 1 の開度を制御する方法を、図 7 を用いて説明する。ステップ S 1 0 において、開度推定部 6 1 は、弁体 3 2 の加速力と、弁体 3 2 への駆動力 4 2 とを取得する。弁体 3 2 の加速力は、検知部 5 1 が検知する速度の変化に基づき算出される。開度推定部 6 1 は、検知部 5 1 が検知した速度を速度信号 3 0 2 として受信する。例えば、検知部 5 1 は、アクチュエータ 5 3 に設けられたモータの角速度を検出する。開度推定部 6 1 は、検出した角速度を速度信号 3 0 2 として受信する。受信した角速度の変化量から、モータの角加速度を算出する。算出した角加速度と、モータ軸周りのイナーシャとの積により、弁体 3 2 の加速力を算出する。モータ軸周りのイナーシャは、カムシャフト 5 2 の形状、モータのイナーシャなどにより決定され、例えば、設計時に算出される。また、駆動力 4 2 を駆動部 5 5 から取得する。例えば、駆動力 4 2 は、アクチュエータ 5 3 が備えるモータに流れる電流とモータのトルク定数との積により算出する。

【 0 0 4 3 】

次に、ステップ S 2 0 において、開度推定部 6 1 は、各々の弁 3 1 の開度を推定する。ステップ S 1 0 で算出した駆動力 4 2 から加速力を減算することで、燃料ガスから弁体 3 2 に加えられている流体力 4 1 を取得する。図 4 に示すような、流体力 4 1 に対する距離 L の関係を示す距離推定データ 4 5 を用いて、取得した流体力 4 1 から距離 L を取得する。距離 L と弁 3 1 の開度とは比例するため、距離 L を弁 3 1 の推定開度として用いる。

【 0 0 4 4 】

ステップ S 3 0 において、開度制御部 6 2 は、各弁 3 1 の開度の補正値として、補正開度を算出する。開度制御部 6 2 は、開度推定部 6 1 から推定開度を取得する。各弁 3 1 に設定している設定開度から、ステップ S 2 0 で算出した推定開度を減算することで、補正開度を算出する。ここで、開度制御部 6 2 は、駆動部 5 5 に対して設定開度を指定しているため、設定開度を保持している。例えば、図 8 に示すように、開度制御部 6 2 は、弁 3 1 - 1 の開度を 7 0 に、弁 3 1 - 2 の開度を 1 0 に、弁 3 1 - 3 の開度を 1 0 に、弁 3 1 - 4 の開度を 1 0 に設定していると仮定する。この設定値が設定開度に相当する。この結果、各ノズル 3 0 の駆動部 5 5 は、弁 3 1 の開度を設定開度に応じて設定している。この開度は距離 L であってもよい。開度推定部 6 1 は、ステップ S 2 0 の処理により、図 9 に示すように、弁 3 1 - 1 の推定開度を 7 5 と、弁 3 1 - 2 の推定開度を 1 7 と、弁 3 1 -

10

20

30

40

50

3の推定開度を14と、弁31-4の推定開度を12と推定したと仮定する。この場合、補正開度は、推定開度から設定開度を減算するため、図10に示すように、弁31-1は5を、弁31-2は8を、弁31-3は4を、弁31-4は3を示す。このように、開度制御部62は、補正開度を算出する。

【0045】

ステップS40において、開度制御部62は、燃焼室12内の圧力値を取得する。圧力検知部13は、燃焼室12内の圧力値を検出し、検出した圧力値を含む圧力信号304を生成する。開度制御部62は、圧力信号304を受信し、圧力値を抽出する。

【0046】

ステップS50において、開度制御部62は、取得した圧力値から圧力の目標値を減算し、圧力補正値を算出する。例えば、圧力の目標値が100MPaであると仮定する。このとき、燃焼室12内の圧力値が90MPaであると仮定する。このときの圧力補正値は-10になる。この値は一例であり、算出した値に予め決定した定数を乗算してもよい。この乗算する定数を、設計時に決定してもよい。また、シミュレーションを用いて、最適な値に設定してもよい。また、圧力の目標値は、開度制御部62が、現在、弁31の開度を設定するために用いている値である。また、圧力の目標値は、飛しょう体の軌道、姿勢を制御するために、開度制御部62の外部で決定された値であってもよい。この場合、開度制御部62は外部から、圧力の目標値を取得する。

【0047】

ステップS60において、開度制御部62は、各弁31に設定すべき開度を算出する。具体的には、各弁31の補正開度の合計値に対する各弁31の補正開度の割合を算出する。算出した割合に圧力補正値を乗算することで、各弁31の補正値を算出する。算出した補正値に、設定すべき開度、つまり目標開度を加算することで、各弁31の制御に用いる制御開度を算出する。算出した制御開度を駆動部55に送信する。例えば、図10に示すような補正開度である場合、補正開度の合計値を算出すると20になる。このため、各弁31の補正開度の合計値に対する弁31-1の補正開度の割合は5/20である。同様に、弁31-2の補正開度の割合は8/20、弁31-3の補正開度の割合は4/20、弁31-4の補正開度の割合は3/20である。これらに、圧力補正値を乗算すると、図11に示すように、弁31-1は $-10 \times 5 / 20 = -2.5$ 、弁31-2は $-10 \times 8 / 20 = 4$ 、弁31-3は $-10 \times 4 / 20 = -2$ 、弁31-4は $-10 \times 3 / 20 = 1.5$ になる。ここで、開度制御部62は、図8に示すように、弁31-1の目標開度を70に、弁31-2の目標開度を10に、弁31-3の目標開度を10に、弁31-4の目標開度を10に設定すると仮定する。この場合、図12に示すように、弁31-1の開度を67.5に、弁31-2の開度を6に、弁31-3の開度を8に、弁31-4の開度を8.5に設定する制御信号305を生成する。ここでは、目標開度は、開度制御部62が、現在、設定している開度を例に説明した。飛しょう体の軌道、姿勢を制御するために、開度制御部62の外部で決定された値であってもよい。この場合、開度制御部62は外部から、目標開度を取得する。

【0048】

ステップS70において、開度制御部62は、生成した制御信号305を駆動部55に送信し、駆動部55に開度を設定する。これにより、駆動部55は、指定された開度に基づき、弁体32を移動する。この結果、各弁31が変形した場合でも、弁31の開度を推定することで、精度よくスラスト1を制御することができる。

【0049】

(性能評価)

4つの弁31を有する飛しょう体について、従来の補正方法と、上記実施の形態に係る補正方法とで、シミュレーションによる性能評価を実施した。従来の補正方法として、燃焼試験のシミュレーション結果を用いて補正データを取得し、すべての弁31に共通に補正を行う方法を採用した。弁31-1の開度が10%増加し、弁31-2の開度が40%増加し、弁31-3の開度が20%増加し、弁31-4の開度が30%増加するものとし

10

20

30

40

50

た。また、燃焼室 1 2 内の圧力の目標値は、図 1 3 に示すように、シミュレーションを開始してから 4 秒経過するまで 1 7 M P a とした。4 秒経過してから 8 秒経過するまでを 5 M P a とし、8 秒経過してから 1 2 秒経過するまでを 2 0 M P a とした。弁 3 1 - 1 を備えるノズル 3 0 - 1 の推力の目標値は、図 1 4 に示すように、1 秒単位で 1 5 0 N から 1 0 0 0 N の範囲で変化させた。弁 3 1 - 2 を備えるノズル 3 0 - 2 の推力の目標値は、図 1 5 に示すように、1 秒単位で 5 0 N から 1 0 0 0 N まで変化させた。

【 0 0 5 0 】

図 1 3 を参照すると、燃焼室 1 2 の圧力について、従来の補正方法より、上記実施の形態に係る補正方法の方が、目標値との誤差が小さいことがわかる。特に、シミュレーションを開始してから 3 秒経過した後の B 1 においては、従来の補正方法では誤差が + 1 5 % 10
であったが、上記実施の形態の補正方法では + 1 % まで減少している。

【 0 0 5 1 】

図 1 4 を参照すると、ノズル 3 0 - 1 の推力についても、従来の補正方法より、上記実施の形態に係る補正方法の方が、目標値との誤差が小さいことがわかる。特に、シミュレーションを開始してから 3 秒経過した後の B 2 においては、従来の補正方法では誤差が + 4 1 % であったが、上記実施の形態の補正方法では - 1 % まで減少している。ここで、シミュレーションを開始してから 4 秒経過したときに目標値は、3 5 0 N から 2 5 0 N に減少しているにも関わらず、従来の補正方法と上記実施の形態の補正方法との両方において推力が増加している。これは、シミュレーションを開始してから 4 秒経過したときに、燃焼室 1 2 の圧力の目標値を 1 7 M P a から 5 M P a に減少するため、弁 3 1 - 1 の開度を 20
大きくする必要があったからである。シミュレーションを開始してから 8 秒経過したときに、目標値の推力が増加しているのに対して、従来の補正方法と上記実施の形態の補正方法との両方において推力が減少しているのも、燃焼室 1 2 の圧力を制御するためである。

【 0 0 5 2 】

図 1 5 を参照すると、ノズル 3 0 - 2 の推力についても、従来の補正方法より、上記実施の形態に係る補正方法の方が、目標値との誤差が小さいことがわかる。特に、シミュレーションを開始してから 1 0 秒経過した後の B 3 において、従来の補正方法では誤差が - 2 2 % であったが、上記実施の形態の補正方法では - 2 % まで減少している。また、シミュレーションを開始してから 4 秒経過したときに、目標値が減少しているのに対して、両補正方法が増加しているのは、ノズル 3 0 - 1 と同じ理由である。 30

【 0 0 5 3 】

(変形例)

上記実施の形態では、検知部 5 1 が弁体 3 2 の速度を検知し、開度推定部 6 1 が弁体 3 2 の加速力を算出する例を示したが、これに限定されない。開度推定部 6 1 が弁体 3 2 の加速力を算出できれば、任意の方法を選択することができる。例えば、検知部 5 1 が弁体 3 2 の加速度を検知し、開度推定部 6 1 が検知した加速度に基づき加速力を算出してもよい。

【 0 0 5 4 】

上記実施の形態では、駆動部 5 5 は、アクチュエータ 5 3 によりカムシャフト 5 2 を回転させることで弁体 3 2 に駆動力 4 2 を与える例を示したが、これに限定されない。駆動部 5 5 が弁体 3 2 に作用力を与えて弁体 3 2 を移動でき、この作用力を検知できればよく、任意の方法を選択することができる。例えば、駆動部 5 5 はリニアモータを備え、リニアモータの駆動力により弁体 3 2 を移動させてもよい。 40

【 0 0 5 5 】

上記実施の形態では、弁 3 1 は、ピントル弁である例を示したが、これに限定されない。弁 3 1 を通過する燃料ガスにより弁体 3 2 に流体力 4 1 が加えられ、流体力 4 1 と弁体 3 2 に加える作用力とがつり合うことで弁 3 1 の開度を制御できるものであれば、任意に選択することができる。例えば、図 1 6 に示すように、ポペット弁であってもよい。この場合、弁 3 1 を開く方向に流体力 4 1 と駆動力 4 2 とが加えられる。その逆方向にバネ 3 4 による弾性力 4 3 が加えられる。つまり、流体力 4 1 と駆動力 4 2 とを加算した合力と 50

、弾性力 4 3 とがつり合う位置に、弁体 3 2 は移動する。

【 0 0 5 6 】

上記実施の形態では、弁座 3 3 から弁体 3 2 の端部までの距離 L を用いて、弁 3 1 の開度を規定する例を示したが、これに限定されない。弁 3 1 の開度を弁体 3 2 の位置を用いて規定できればよく、任意の方法を選択することができる。例えば、弁体 3 2 の任意の位置に基準点を設定し、弁 3 1 が閉じているときの基準点の位置と、現在の基準点の位置との距離を用いて、3 1 の開度を規定してもよい。この基準点として、例えば、弁座 3 3 とは逆方向にある弁体 3 2 の端部でもよい。

【 0 0 5 7 】

上記実施の形態では、弁体 3 2 の位置を用いて弁 3 1 の開度を規定する例を示したが、これに限定されない。弁 3 1 の開度を制御できるパラメータであれば、任意に選択することができる。

10

【 0 0 5 8 】

上記実施の形態では、弁 3 1 の開度を推定するために用いる開度データの例として、図 4 に示す距離推定データ 4 5 を示したが、これに限定されない。流体力 4 1 から弁 3 1 の開度を推定できればよく、任意の方法を選択することができる。例えば、図 1 7 に示すように、流体力 4 1 の値と、それに対応した弁 3 1 の開度が格納された推定データ 4 6 でもよい。この場合、算出した流体力 4 1 に最も近い値を推定データ 4 6 から選択し、対応する弁 3 1 の開度を取得する。

【 0 0 5 9 】

上記実施の形態では、ステップ S 5 0 において、補正開度の割合に圧力補正値を乗算することで、各弁 3 1 の補正値を算出する例を示したが、さらに、予め決められた定数を乗算してもよい。この定数は、設計時に決定してもよい。また、シミュレーションを用いて、最適な値を算出してもよい。

20

【 0 0 6 0 】

上記実施の形態では、圧力検知部 1 3 で検知した圧力値に基づき、弁 3 1 の開度を補正する例を示したが、この処理を省略してもよい。この場合、図 7 に示す処理において、ステップ S 4 0 と、ステップ S 5 0 とを行わない。また、各弁 3 1 の開度の補正値は、図 1 0 に示す算出した補正開度の符号を反転した値、または補正開度に予め決められた定数を乗算した値を用いる。ここで、予め決められた定数は、設計時に決定した値である。また

30

【 0 0 6 1 】

以上において説明した処理は一例であり、各ステップの順番、処理内容は、機能を阻害しない範囲で変更してもよい。また、説明した構成は、機能を阻害しない範囲で、任意に変更してもよい。

【 符号の説明 】

【 0 0 6 2 】

- 1 スラスト
- 1 0 ガスジェネレータ
- 1 1 固体燃料
- 1 2 燃焼室
- 1 2 a、1 2 b 壁面
- 1 3 圧力検知部
- 3 0 ノズル
- 3 1 弁
- 3 2 弁体
- 3 3 弁座
- 3 4 バネ
- 4 1 流体力
- 4 2 駆動力

40

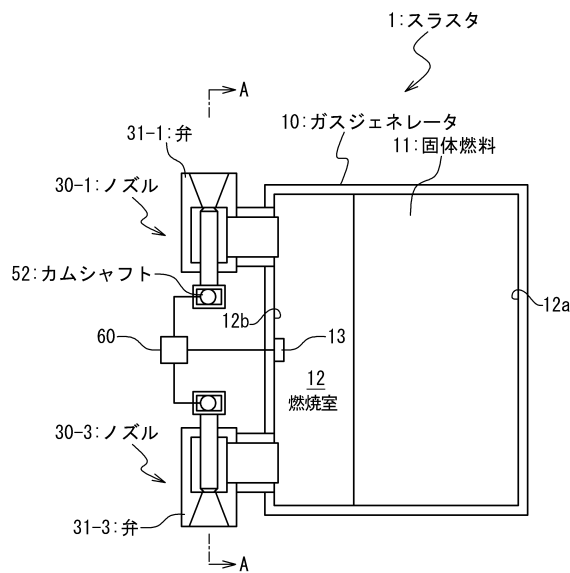
50

- 4 3 弾性力
- 4 5 距離推定データ
- 4 6 推定データ
- 5 1 検知部
- 5 2 カムシャフト
- 5 3 アクチュエータ
- 5 5 駆動部
- 6 0 制御部
- 6 1 開度推定部
- 6 2 開度制御部
- 1 0 0 弁体制御部
- 3 0 1 作用力信号
- 3 0 2 速度信号
- 3 0 3 推定信号
- 3 0 4 圧力信号
- 3 0 5 制御信号
- 4 0 0 演算装置
- 4 0 1 記憶装置
- 4 0 2 通信部
- 4 0 3 入力部
- 4 0 4 出力部

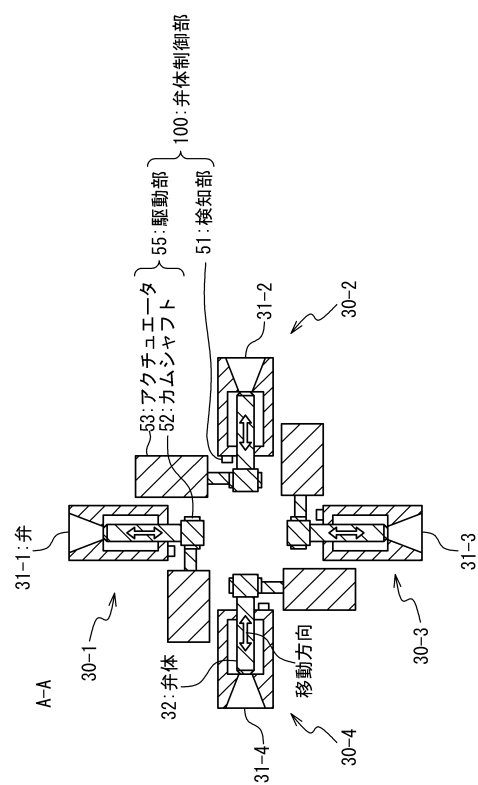
10

20

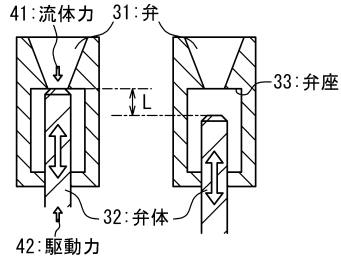
【図1】



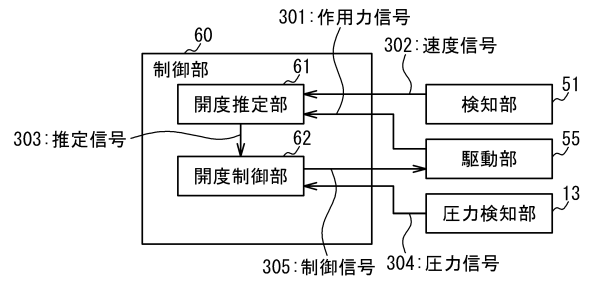
【図2】



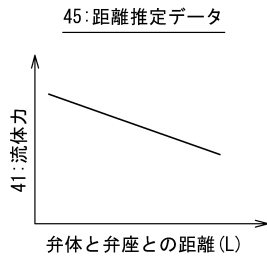
【図3】



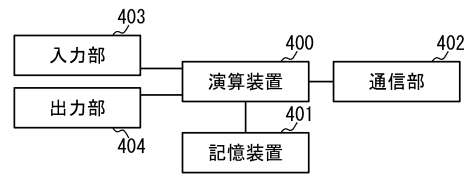
【図5】



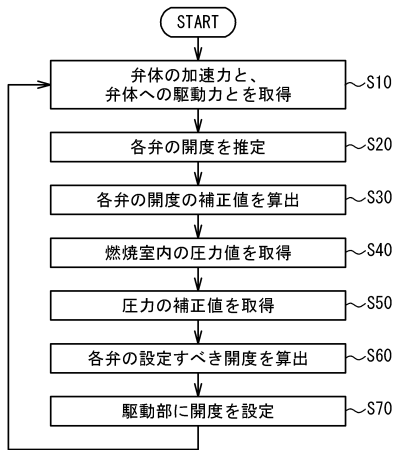
【図4】



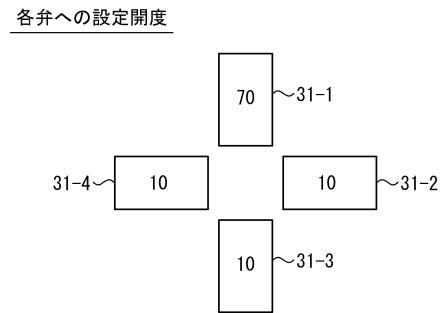
【図6】



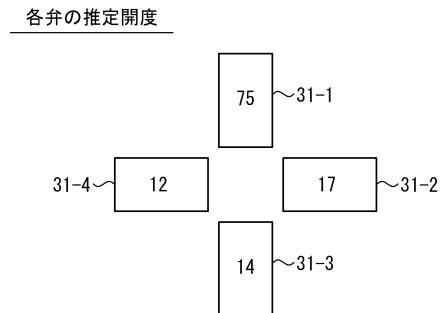
【図7】



【図8】

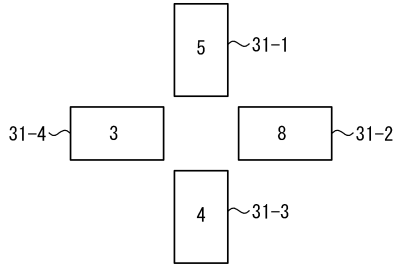


【図9】



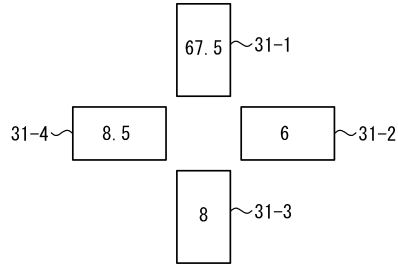
【図10】

各弁の補正開度



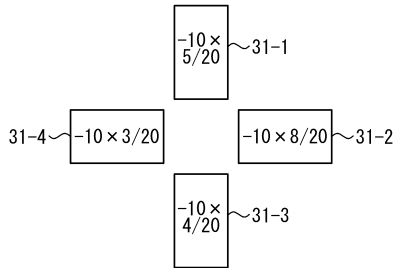
【図12】

各弁の設定すべき開度

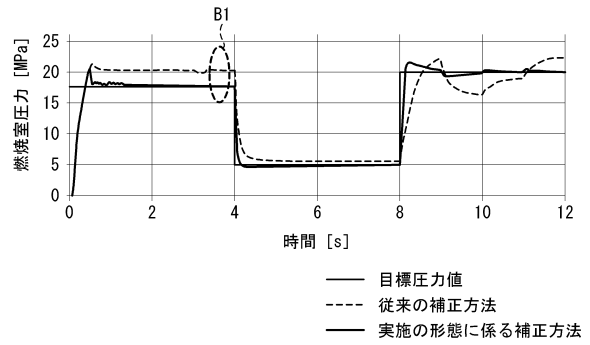


【図11】

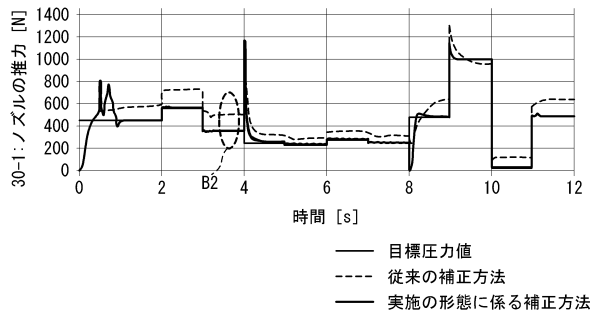
各弁の補正值



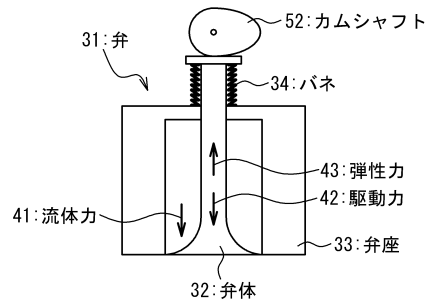
【図13】



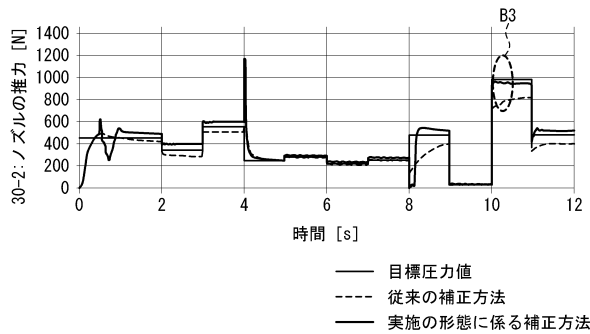
【図14】



【図16】



【図15】



【図17】

46: 推定データ

流体力	開度

フロントページの続き

- (56)参考文献 米国特許第04955558 (US, A)
特開2014-105657 (JP, A)
米国特許出願公開第2016/0025765 (US, A1)
中国特許出願公開第106644369 (CN, A)
特開2007-231951 (JP, A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

B 6 4 G	1 / 2 6
F 0 2 K	9 / 8 6
F 0 2 K	9 / 0 0
F 1 6 K	3 7 / 0 0
F 1 6 K	3 1 / 0 4
G 0 5 D	1 6 / 2 0