(19)日本国特許庁(JP)　(12)公開特許公報(A)　(11)特許出願公開番号
特開2018-190024
(P2018-190024A)
(43)公開日　平成30年11月29日(2018.11.29)

(51)Int.Cl.		F I			テーマコード（参考）
G05D 1/08	(2006.01)	G05D	1/08	Z	2E189
B64C 13/18	(2006.01)	B64C	13/18	Z	5H301
B64F 3/02	(2006.01)	B64F	3/02		
A62C 27/00	(2006.01)	A62C	27/00	507	

審査請求 未請求　請求項の数 9　ＯＬ　（全 14 頁）

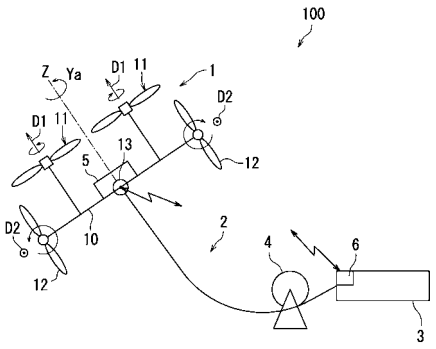
(21)出願番号　特願2017-89508(P2017-89508)
(22)出願日　平成29年4月28日(2017.4.28)

(71)出願人　506122327
公立大学法人大阪市立大学
大阪府大阪市住吉区杉本３丁目３番１３８号
(74)代理人　100168583
弁理士　前井　宏之
(72)発明者　今津　篤志
大阪府大阪市住吉区杉本３丁目３番１３８号　公立大学法人大阪市立大学内

Ｆターム(参考)　2E189 FA01　FA04　FB09
5H301 AA06　CC04　CC07　CC08　GG07

(54)【発明の名称】飛行体制御システム、及び飛行体

(57)【要約】
【課題】飛行体のヨー角を効率的に制御する。
【解決手段】飛行体制御システム１００は、飛行体１と、制御装置５とを備える。制御装置５は、飛行体１の姿勢角度を制御する。飛行体１は、第１ロータ群１１と、第２ロータ群１２とを有する。第１ロータ群１１は、３つ以上のロータを有する。第２ロータ群１２は、２つ以上のロータを有する。第１ロータ群１１は、第１方向Ｄ１の推力を発生する。第２ロータ群１２は、飛行体１に作用するトルクのトルクアームＲ２が所定長以上となるように第１方向Ｄ１と交差する方向の推力を発生する。
【選択図】図１



【特許請求の範囲】
【請求項１】
飛行体と、
前記飛行体の姿勢角度を制御する制御装置と
を備え、
前記飛行体は、
第１方向の推力を発生する３つ以上の第１ロータと、
前記飛行体に作用するトルクのトルクアームが所定長以上となるように前記第１方向と交差する方向の推力を発生する２つ以上の第２ロータと
を有する、飛行体制御システム。
【請求項２】
前記制御装置は、前記第２ロータの推力によって前記飛行体のヨー角を制御すると共に、前記第１ロータの推力によって前記飛行体のロール角、及びピッチ角を制御する、請求項１に記載の飛行体制御システム。
【請求項３】
前記制御装置は、前記飛行体に作用する外力に基づいて、前記飛行体の姿勢角度を制御する、請求項１又は請求項２に記載の飛行体制御システム。
【請求項４】
前記飛行体に曳航されたケーブルと、前記飛行体に配置され、消火剤を吐出する吐出機構とのうちの少なくとも一方を更に備え、
前記外力は、前記ケーブルの張力と、前記吐出機構から吐出される前記消火剤の反力とのうちの少なくとも一方を含む、請求項３に記載の飛行体制御システム。
【請求項５】
前記ケーブルは、電力と前記消火剤との少なくとも一方を前記飛行体に供給する、請求項４に記載の飛行体制御システム。
【請求項６】
前記吐出機構は、前記消火剤の吐出方向を変更可能に構成されており、
前記制御装置は、前記吐出機構を介して前記消火剤の吐出方向を制御する、請求項４又は請求項５に記載の飛行体制御システム。
【請求項７】
前記第２ロータは、前記第１方向に直交する方向の推力を発生する、請求項１から請求項６のいずれか１項に記載の飛行体制御システム。
【請求項８】
前記所定長は、前記第１ロータの推力によって前記飛行体に作用するトルクのトルクアームの長さを示す、請求項１から請求項７のいずれか１項に記載の飛行体制御システム。
【請求項９】
空中を飛行する飛行体であって、
第１方向の推力を発生する３つ以上の第１ロータと、
前記飛行体に作用するトルクのトルクアームが所定長以上となるように前記第１方向と交差する方向の推力を発生する２つ以上の第２ロータと
を備える、飛行体。
【発明の詳細な説明】
【技術分野】
【０００１】
本発明は、飛行体制御システム、及び飛行体に関する。
【背景技術】
【０００２】
特許文献１に記載の飛行体システムは、飛行体と、ケーブルと、制御部とを備える。ケーブルは、飛行体に曳航される。制御部は、飛行体に作用するケーブルの張力に基づいて、飛行体の位置を制御する。

【先行技術文献】
【特許文献】
【０００３】
【特許文献１】特開２０１４－１６９０３８号公報
【発明の概要】
【発明が解決しようとする課題】
【０００４】
特許文献１に記載の飛行体システムは、飛行体のヨー角を制御する点において改善の余地があった。具体的には、飛行体は複数のロータを備え、複数のロータは同一の方向の推力を発生する。よって、飛行体のヨー角を制御するためには、複数のロータのうち、少なくとも１つのロータが大きな推力を発生する必要があった。
【０００５】
本発明は上記課題に鑑みてなされたものであり、飛行体のヨー角を効率的に制御することが可能な飛行体制御システム、及び飛行体を提供することを目的としている。
【課題を解決するための手段】
【０００６】
本願に開示する飛行体制御システムは、飛行体と、制御装置とを備える。前記制御装置は、前記飛行体の姿勢角度を制御する。前記飛行体は、３つ以上の第１ロータと、２つ以上の第２ロータとを有する。前記第１ロータは、第１方向の推力を発生する。前記第２ロータは、前記飛行体に作用するトルクのトルクアームが所定長以上となるように前記第１方向と交差する方向の推力を発生する。
【０００７】
本願に開示する飛行体制御システムにおいて、前記制御装置は、前記第２ロータの推力によって前記飛行体のヨー角を制御すると共に、前記第１ロータの推力によって前記飛行体のロール角、及びピッチ角を制御することが好ましい。
【０００８】
本願に開示する飛行体制御システムにおいて、前記制御装置は、前記飛行体に作用する外力に基づいて、前記飛行体の姿勢角度を制御することが好ましい。
【０００９】
本願に開示する飛行体制御システムにおいて、前記飛行体に曳航されたケーブルと、前記飛行体に配置され、消火剤を吐出する吐出機構とのうちの少なくとも一方を更に備えることが好ましい。前記外力は、前記ケーブルの張力と、前記吐出機構から吐出される前記消火剤の反力とのうちの少なくとも一方を含むことが好ましい。
【００１０】
本願に開示する飛行体制御システムにおいて、前記ケーブルは、電力と前記消火剤との少なくとも一方を前記飛行体に供給することが好ましい。
【００１１】
本願に開示する飛行体制御システムにおいて、前記吐出機構は、前記消火剤の吐出方向を変更可能に構成されていることが好ましい。前記制御装置は、前記吐出機構を介して前記消火剤の吐出方向を制御することが好ましい。
【００１２】
本願に開示する飛行体制御システムにおいて、前記第２ロータは、前記第１方向に直交する方向の推力を発生することが好ましい。
【００１３】
本願に開示する飛行体制御システムにおいて、前記所定長は、前記第１ロータの推力によって前記飛行体に作用するトルクのトルクアームの長さを示すことが好ましい。
【００１４】
本願に開示する飛行体は、空中を飛行する飛行体であって、３つ以上の第１ロータと、２つ以上の第２ロータとを備える。前記第１ロータは、第１方向の推力を発生する。前記第２ロータは、前記飛行体に作用するトルクのトルクアームが所定長以上となるように前

記第１方向と交差する方向の推力を発生する。
【発明の効果】
【００１５】
本発明の飛行体制御システム、及び飛行体によれば、飛行体のヨー角を効率的に制御できる。
【図面の簡単な説明】
【００１６】
【図１】本発明の実施形態に係る飛行体制御システムの構成を示す図である。
【図２】本発明の実施形態に係る飛行体の構成を示す斜視図である。
【図３】飛行体に作用する力を示す図である。
【図４】制御装置の構成を示す図である。
【図５】飛行体の姿勢を制御する実験の結果を示す図である。（ａ）は、ヨー角の変化を示す図である。（ｂ）は、ピッチ角の変化を示す図である。
【図６】比較例の飛行体の構成を示す図である。
【図７】比較例の飛行体の制御装置の構成を示す図である。
【発明を実施するための形態】
【００１７】
以下、本発明の実施形態について、図面（図１～図７）を参照しながら説明する。なお、図中、同一又は相当部分については同一の参照符号を付して説明を繰り返さない。
【００１８】
まず、図１を参照して本発明の実施形態に係る飛行体制御システム１００の構成について説明する。図１は、飛行体制御システム１００の構成を示す図である。図１に示すように、飛行体制御システム１００は、飛行体１と、ケーブル２と、第１制御装置３と、長さ調整器４と、通信器６とを備える。
【００１９】
飛行体１は、筐体１０と、第１ロータ群１１と、第２ロータ群１２と、第２制御装置５と、通信器１３とを備える。なお、飛行体１には、オペレータは搭乗しない。換言すれば、飛行体１は、無人の飛行体である。
【００２０】
筐体１０には、第１ロータ群１１、第２ロータ群１２、第２制御装置５及び通信器１３が配置される。筐体１０に対して直交する方向にＺ軸を規定する。Ｚ軸を中心軸とする飛行体１の回転角をヨー角Ｙａと規定する。
【００２１】
第１ロータ群１１は、３つ以上の第１ロータを備え、第１方向Ｄ１の推力を発生する。第２ロータ群１２は、２つ以上の第２ロータを備え、第２方向Ｄ２の推力を発生する。第２方向Ｄ２は、第１方向Ｄ１と交差する方向を示す。具体的には、第２方向Ｄ２は、第１方向Ｄ１と直交する方向を示す。また、第２ロータ群１２は、飛行体１に作用するトルクのトルクアームが所定長以上となるように推力を発生する。通信器１３は、通信器６と無線通信する。
【００２２】
ケーブル２は、飛行体１に曳航される。ケーブル２は、飛行体１に電力及び消火剤を供給する。「ケーブル２が飛行体１に曳航される」とは、ケーブル２が飛行体１によって引っ張られて移動することを意味する。
【００２３】
第１制御装置３は、飛行体１の位置を制御する。具体的には、第１制御装置３は、第１ロータ群１１の推力によって飛行体１の位置を制御する。第１制御装置３と第２制御装置５とは互いに通信可能に接続される。具体的には、第１制御装置３は、通信器６及び通信器１３を介して、を第２制御装置５と通信する。
【００２４】
長さ調整器４は、ケーブル２の長さを調整する。長さ調整器４は、例えば、ケーブル２

の張力Ｆｅを検出し、張力Ｆｅが最小になるように、ケーブル２の長さを調整する。
【００２５】
第２制御装置５は、飛行体１の姿勢角度を制御する。第２制御装置５は、「制御装置」の一例に相当する。飛行体１の姿勢角度は、ヨー角Ｙａを含む。
【００２６】
通信器６は、通信器１３と無線通信する。具体的には、通信器６は、通信器１３に対して、制御信号を送信する。制御信号は、第１制御装置３によって生成された制御情報に対応する。また、通信器６は、第１制御装置３と一体に構成され、第２制御装置５との間で制御情報を送受信する。
【００２７】
以上、図１を参照して説明したように、本発明の実施形態では、飛行体１は、第１ロータ群１１と、第２ロータ群１２とを有する。第１ロータ群１１は、３つ以上の第１ロータを備え、第１方向Ｄ１の推力を発生する。第２ロータ群１２は、２つ以上の第２ロータを備え、第２方向Ｄ２の推力を発生する。第２方向Ｄ２は、第１方向Ｄ１と交差する方向を示す。また、第２ロータ群１２は、飛行体１に作用するトルクのトルクアームが所定長以上となるように推力を発生する。したがって、第２ロータ群１２の推力を制御することによって飛行体１のヨー角Ｙａを制御することが可能になる。
【００２８】
また、ケーブル２は、電力及び消火剤を飛行体１に供給する。したがって、ケーブル２が電力を飛行体１に供給するため、飛行体１の飛行可能距離を長くすることができる。また、ケーブル２が消火剤を飛行体１に供給するため、飛行体１が消火剤を貯留するタンクを備える必要がない。したがって、消火剤の量が制限されない。また、飛行体１を軽量化できる。その結果、飛行体１の製造コストを低減できると共に、飛行可能距離を更に長くすることができる。
【００２９】
次に、図１及び図２を参照して、本発明の実施形態に係る飛行体１の構成について説明する。図２は、飛行体１の構成を示す斜視図である。図２に示すように、飛行体１は、モータＭＴ及び吐出機構１４を更に備える。
【００３０】
筐体１０は、第１ロータ群１１、第２ロータ群１２及び通信器１３に加えて、モータＭＴ及び吐出機構１４を支持する。
【００３１】
第１ロータ群１１は、第１ロータ１１１、第１ロータ１１２、第１ロータ１１３及び第１ロータ１１４を備える。第１ロータ１１１～第１ロータ１１４は、それぞれ、モータＭＴによって駆動される。
【００３２】
第２ロータ群１２は、第２ロータ１２５及び第２ロータ１２６を備える。第２ロータ１２５及び第２ロータ１２６は、それぞれ、モータＭＴによって駆動される。
【００３３】
吐出機構１４は、消火剤を消火対象物に向けて吐出する。吐出機構１４は、消火剤の吐出方向を変更する。吐出機構１４は、ノズル１４１を備える。ノズル１４１は、消火剤の吐出方向を規定する。ノズル１４１は、例えば、円筒状に形成され、ケーブル２から供給された消火剤を吐出する。消火剤は、例えば、水である。消火剤は、泡でもよいし、粉でもよい。
【００３４】
吐出機構１４は、ノズル１４１を方向Ｄ３及び方向Ｄ４に調整する。吐出機構１４は、例えば、モータ（図示省略）によってノズル１４１を方向Ｄ３に調整し、別のモータ（図示省略）によってノズル１４１を方向Ｄ４に調整する。吐出機構１４は、ノズル１４１を方向Ｄ３及び方向Ｄ４に調整することによって、消火剤の吐出方向を調整する。
【００３５】

通信器１３は、第２制御装置５からの制御情報に対応する制御信号を受信し、モータＭＴ及び吐出機構１４に伝送する。モータＭＴは、制御信号に基づいて制御される。吐出機構１４のノズル１４１の方向Ｄ３及び方向Ｄ４は、制御信号に基づいて制御される。

【００３６】

以上、図１及び図２を参照して説明したように、本発明の実施形態では、第２制御装置５は、吐出機構１４を介して消火剤の吐出方向を制御する。よって、消火剤を消火対象物に向けて散布できる。したがって、消火対象物を効果的に消火できる。

【００３７】

以上、図１及び図２を参照して説明したように、本発明の実施形態では、飛行体１が第２制御装置５及び通信器１３を備えるが、本発明はこれに限定されない。第２制御装置５がモータＭＴ及び吐出機構１４を制御可能に構成されていればよい。例えば、第２制御装置５が第１制御装置３と一体に形成されている形態でもよい。また、例えば、第２制御装置５とモータＭＴ及び吐出機構１４とが有線で通信を行う形態でもよい。

【００３８】

また、本発明の実施形態では、ケーブル２が、電力及び消火剤を飛行体１に供給するが、本発明はこれに限定されない。ケーブル２が、電力及び消火剤の少なくとも一方を飛行体１に供給すればよい。

【００３９】

次に、図１～図３を参照して、飛行体１に作用する力について説明する。図３は、飛行体１に作用する力を示す図である。図３に示すように、飛行体１の位置を規定する直交座標系は、互いに直交するＸ軸とＹ軸とＺ軸とから構成される。筐体１０は、矩形状に構成される。Ｘ軸とＹ軸とは、筐体１０に平行である。Ｚ軸は、筐体１０に直交する。重心ＰＧは、飛行体１の重心を示す。重心ＰＧの位置は、Ｘ軸、Ｙ軸及びＺ軸の原点の位置と一致している。

【００４０】

飛行体１の姿勢を規定する姿勢角度は、ヨー角Ｙａと、ピッチ角Ｐｉと、ロール角Ｒｏとによって示される。ヨー角Ｙａは、Ｚ軸を中心軸とする飛行体１の回転角を示す。ピッチ角Ｐｉは、Ｙ軸を中心軸とする飛行体１の回転角を示す。ロール角Ｒｏは、Ｘ軸を中心軸とする飛行体１の回転角を示す。

【００４１】

飛行体１には、推力Ｆ１、推力Ｆ２、推力Ｆ３、推力Ｆ４、推力Ｆ５、推力Ｆ６が作用する。推力Ｆ１は、第１ロータ１１１による推力を示す。推力Ｆ２は、第１ロータ１１２による推力を示す。推力Ｆ３は、第１ロータ１１３による推力を示す。推力Ｆ４は、第１ロータ１１４による推力を示す。推力Ｆ５は、第２ロータ１２５による推力を示す。推力Ｆ６は、第２ロータ１２６による推力を示す。推力Ｆ１～推力Ｆ４は、Ｚ軸と平行な方向に作用する。推力Ｆ５及び推力Ｆ６は、Ｘ軸と平行な方向に作用する。

【００４２】

飛行体１には、反トルクＴ１、反トルクＴ２、反トルクＴ３、反トルクＴ４、反トルクＴ５及び反トルクＴ６が更に作用する。反トルクＴ１は、第１ロータ１１１の回転に伴う反トルクを示す。反トルクＴ２は、第１ロータ１１２の回転に伴う反トルクを示す。反トルクＴ３は、第１ロータ１１３の回転に伴う反トルクを示す。反トルクＴ４は、第１ロータ１１４の回転に伴う反トルクを示す。反トルクＴ５は、第２ロータ１２５の回転に伴う反トルクを示す。反トルクＴ６は、第２ロータ１２６の回転に伴う反トルクを示す。

【００４３】

トルクアームＲ１は、推力Ｆ１～推力Ｆ４が飛行体１をピッチ角Ｐｉの方向、及びロール角Ｒｏの方向に回転させるトルクのトルクアームを示す。トルクアームＲ２は、推力Ｆ５及び推力Ｆ６が飛行体１をヨー角Ｙａの方向に回転させるトルクのトルクアームを示す。トルクアームＲ２は、トルクアームＲ１より長い。トルクアームＲ１の長さは、「所定長」に相当する。

【００４４】

飛行体１には、ケーブル２の張力Ｆｅが作用する。張力Ｆｅは、重心ＰＧに作用する。張力Ｆｅの方向を示すベクトルの先端は、Ｘ軸とＺ軸とを含むＸ－Ｚ平面内に位置している。飛行体１には、分力ＦｅｘがＸ軸の正方向に作用する。分力Ｆｅｘは、ケーブル２の張力ＦｅのＸ軸方向の分力を示す。

【００４５】

飛行体１は、角度検出器（図示省略）を更に備える。角度検出器は、重心ＰＧに張力Ｆｅが作用する方向とＸ軸の正方向とがなす角ψを検出する。

【００４６】

なお、飛行体１には、吐出機構１４から吐出される消火剤の反力が更に作用するが、以下の説明においては、消火剤の反力の影響を省略する。換言すれば、以下では、吐出機構１４から吐出される消火剤の反力が作用しない形態について説明する。

【００４７】

飛行体１の運動方程式は、次の式（１）で表される。

【数１】

$$\begin{pmatrix} M\alpha x \\ M\alpha y \\ M\alpha z \\ Ir\Phi r \\ Ip\Phi p \\ Iy\Phi y \end{pmatrix} = A \begin{pmatrix} F1 \\ F2 \\ F3 \\ F4 \\ F5 \\ F6 \end{pmatrix} \qquad (1)$$

【００４８】

式（１）において、質量Ｍは、飛行体１の質量を示す。加速度αｘは、飛行体１のＸ軸方向の加速度を示す。加速度αｙは、飛行体１のＹ軸方向の加速度を示す。加速度αｚは、飛行体１のＺ軸方向の加速度を示す。

【００４９】

式（１）において、慣性モーメントＩｒは、飛行体１のロール角Ｒｏの方向の慣性モーメントを示す。慣性モーメントＩｐは、飛行体１のピッチ角Ｐｉの方向の慣性モーメントを示す。慣性モーメントＩｙは、飛行体１のヨー角Ｙａの方向の慣性モーメントを示す。

【００５０】

式（１）において、角加速度Φｒは、飛行体１のロール角Ｒｏの方向の角加速度を示す。角加速度Φｐは、飛行体１のピッチ角Ｐｉの方向の角加速度を示す。角加速度Φｙは、飛行体１のヨー角Ｙａの方向の角加速度を示す。

【００５１】

ここで、行列Ａは、次の式（２）で表される。

【数２】

$$\mathrm{A} = \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 \\ -R1 & R1 & R1 & -R1 & K2 & -K2 \\ -R1 & R1 & R1 & R1 & 0 & 0 \\ K1 & -K1 & K1 & -K1 & R2 & -R2 \end{pmatrix} \qquad (2)$$

【００５２】

また、行列Ａに含まれる係数Ｋｌ及び係数Ｋ２は、次の式（３－１）～式（３－６）で規定される。

Ｔ１＝Ｋ１×Ｆ１　　（３－１）
Ｔ２＝Ｋ１×Ｆ２　　（３－２）
Ｔ３＝Ｋ１×Ｆ３　　（３－３）
Ｔ４＝Ｋ１×Ｆ４　　（３－４）
Ｔ５＝Ｋ２×Ｆ５　　（３－４）
Ｔ６＝Ｋ２×Ｆ６　　（３－６）

すなわち、係数Ｋｌは、推力Ｆ１と反トルクＴ１との関係、推力Ｆ２と反トルクＴ２との関係、推力Ｆ３と反トルクＴ３との関係、及び推力Ｆ４と反トルクＴ４との関係を規定する係数を示す。また、係数Ｋ２は、推力Ｆ５と反トルクＴ５との関係、及び推力Ｆ６と反トルクＴ６との関係を規定する係数を示す。更に、トルクアームＲ１及びトルクアームＲ２は、係数Ｋｌ及び係数Ｋ２より大きい。

【００５３】

以上、図１～図３を参照して説明したように、本発明の実施形態では、第２ロータ群１２は、第１方向Ｄ１に直交する第２方向Ｄ２の推力を発生する。よって、ヨー角Ｙａを制御するために必要な第１ロータ群１１の推力を低減できる。したがって、第２ロータ群１２の推力で飛行体１のヨー角Ｙａを効率的に制御できる。

【００５４】

換言すれば、第１ロータ群１１のみを備える飛行体では、第１ロータ群１１が係数Ｋｌを介してヨー角Ｙａを制御するのに対して、本発明の実施形態では、第２ロータ群１２がトルクアームＲ２を介してヨー角Ｙａを制御することができる。

【００５５】

また、所定長は、第１ロータ群１１の推力Ｆ１～推力Ｆ４によって飛行体１に作用するトルクのトルクアームＲ１の長さを示す。したがって、第２ロータ群１２のトルクアームＲ２は、第１ロータ群１１のトルクアームＲ１より長いため、飛行体１のヨー角Ｙａを更に効率的に制御することが可能になる。

【００５６】

次に、図３及び図４を参照して、第２制御装置５の構成について説明する。図４は、第２制御装置５の構成を示す図である。飛行体１は、ＩＭＵ（Ｉｎｅｒｔｉａｌ　Ｍｅａｓｕｒｅｍｅｎｔ　Ｕｎｉｔ）（図示省略）を更に備える。ＩＭＵは、飛行体１のロール角Ｒｏ、ピッチ角Ｐｉ及びヨー角Ｙａを検出する。

【００５７】

図４に示すように、第２制御装置５は、外力算出部５１、ヨー角制御部５２、第１姿勢制御部５３、及び第２姿勢制御部５４を備える。

【００５８】

外力算出部５１は、張力Ｆｅの分力Ｆｅｘを算出する。張力Ｆｅは、長さ調整器４によって検出される。重心ＰＧに張力Ｆｅが作用する方向と、Ｘ軸の正方向とがなす角ψは、角度検出器によって検出される。外力算出部５１は、張力Ｆｅと角ψに基づいて、分力Ｆｅｘを算出する。

【００５９】

第１姿勢制御部５３は、目標ロール角θｒ、目標ピッチ角θｐ及び目標ヨー角θｙと、ＩＭＵが検出した飛行体１のロール角Ｒｏ、ピッチ角Ｐｉ及びヨー角Ｙａとに基づき、操作量Ｕｒ、操作量Ｕｐ及び操作量Ｕｙを求める。操作量Ｕｒは、ロール角Ｒｏの操作量を示す。操作量Ｕｐは、ピッチ角Ｐｉの操作量を示す。操作量Ｕｙは、ヨー角Ｙａの操作量を示す。

【００６０】

具体的には、第１姿勢制御部５３は、ＩＭＵが検出した飛行体１のロール角Ｒｏと目標ロール角θｒとの偏差に対してＰＩＤ制御を行い、操作量Ｕｒを求める。また、第１姿勢制御部５３は、ＩＭＵが検出した飛行体１のピッチ角Ｐｉと目標ピッチ角θｐとの偏差に

対してＰＩＤ制御を行い、操作量Ｕｐを求める。更に、第１姿勢制御部５３は、ＩＭＵが検出した飛行体１のヨー角Ｙａと目標ヨー角θｙとの偏差に対してＰＩＤ制御を行い、操作量Ｕｙを求める。

【００６１】

第２姿勢制御部５４は、飛行体１のロール角Ｒｏが目標ロール角θｒになるように推力Ｆ１～推力Ｆ４を制御する。また、第２姿勢制御部５４は、飛行体１のピッチ角Ｐｉが目標ピッチ角θｐになるように推力Ｆ１～推力Ｆ４を制御する。すなわち、第２姿勢制御部５４は、次の式（４）に基づいて推力Ｆ１～推力Ｆ４を制御する。

【数３】

$$\begin{pmatrix} F1 \\ F2 \\ F3 \\ F4 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 & 1 & 0 & 1 \\ -1 & 1 & 0 & 1 \\ -1 & -1 & 0 & 1 \\ 1 & -1 & 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} Ur \\ Up \\ Uy \\ Uz \end{pmatrix} \qquad (4)$$

ここで、操作量Ｕｚは、Ｚ軸方向の操作量を示す。

【００６２】

ヨー角制御部５２は、飛行体１のヨー角Ｙａが目標ヨー角θｙになるように推力Ｆ５及び推力Ｆ６を制御する。すなわち、ヨー角制御部５２は、次の式（５）に基づいて推力Ｆ５及び推力Ｆ６を制御する。

【数４】

$$\begin{pmatrix} F5 \\ F6 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1/2 & 1/2 \\ 1/2 & -1/2 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} Fex \\ Uy \end{pmatrix} \qquad (5)$$

ここで、分力Ｆｅｘは、外力算出部５１によって算出される。

【００６３】

以上、図３及び図４を参照して説明したように、本発明の実施形態では、第２制御装置５は、第２ロータ群１２の推力Ｆ５及び推力Ｆ６によって飛行体１のヨー角Ｙａを制御すると共に、第１ロータ群１１の推力Ｆ１～推力Ｆ４によって飛行体１のロール角Ｒｏ、及びピッチ角Ｐｉを制御する。よって、第２制御装置５は、飛行体１のヨー角Ｙａ、ロール角Ｒｏ、及びピッチ角Ｐｉを効果的に制御できる。したがって、第２制御装置５は、飛行体１の姿勢角度を効果的に制御できる。

【００６４】

また、第２制御装置５は、飛行体１に作用する外力（張力Ｆｅ）に基づいて、飛行体１の姿勢角度を制御する。したがって、飛行体１に外力が作用する場合であっても、飛行体１の姿勢角度を制御できる。

【００６５】

更に、外力は、ケーブル２の張力Ｆｅを含む。ケーブル２は飛行体１に曳航される。したがって、飛行体１がケーブル２を曳航する場合であっても、飛行体１の姿勢角度を制御できる。

【００６６】

＜飛行実験＞

次に、飛行体１を飛行させて飛行体１の姿勢を制御する実験を行った。図１～図６を参照して、実験結果について以下に説明する。

【００６７】

（実験条件）

図３及び図４に示す構成の飛行体１の飛行実験を行い、比較例の飛行体１ａとの比較を行った。図６は、比較例の飛行体１ａの構成を示す図である。飛行体１ａは、図３に示す飛行体１と比較して、第２ロータ群１２を備えない点で相違していた。

【００６８】

図７は、比較例の飛行体１ａの第２制御装置５ａの構成を示す図である。第２制御装置５ａは、図４に示す飛行体１の第２制御装置５と比較して、外力算出部５１及びヨー角制御部５２を備えない点で相違していた。また、第２制御装置５ａは、第２制御装置５の第２姿勢制御部５４に換えて、第２姿勢制御部５４ａを備えていた。第２姿勢制御部５４ａを規定する式は、第２姿勢制御部５４を規定する式（４）に換えて、下記に示す（６）式を用いた。

【数５】

$$\begin{pmatrix} F1 \\ F2 \\ F3 \\ F4 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 \\ -1 & 1 & -1 & 1 \\ -1 & -1 & 1 & 1 \\ 1 & -1 & -1 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} Ur \\ Up \\ Uy \\ Uz \end{pmatrix} \qquad (6)$$

【００６９】

なお、飛行体１及び飛行体１ａの飛行実験において、ロール角Ｒｏ及びピッチ角Ｐｉの制御には、ＩＭＵを用い、位置の制御とヨー角Ｙａの制御とには、モーションキャプチャシステムを用いた。ロール角Ｒｏ及びピッチ角Ｐｉの制御の周期は、３ｍｓであり、位置の制御とヨー角Ｙａの制御との周期は、３０ｍｓであった。

【００７０】

（実験結果）

図５に実験結果を示す。図５は、飛行体１の姿勢を制御する実験の結果を示す図である。図５（ａ）は、ヨー角Ｙａの変化を示す図である。図５（ｂ）は、ピッチ角Ｐｉの変化を示す図である。

【００７１】

図５（ａ）の縦軸はヨー角Ｙａを示し、横軸は時間を示す。グラフＧ１１は、飛行体１のヨー角Ｙａの変化を示し、グラフＧ１２は、比較例の飛行体１ａのヨー角Ｙａの変化を示す。

【００７２】

グラフＧ１２に示すように、比較例の飛行体１ａでは、ヨー角Ｙａが７度程度回転した。これに対して、飛行体１では、ヨー角Ｙａは３度以内に収まった。すなわち、比較例の飛行体１ａと比較して、飛行体１では、ヨー角Ｙａの制御精度が向上した。

【００７３】

図５（ｂ）の縦軸はピッチ角Ｐｉを示し、横軸は時間を示す。グラフＧ２１は、飛行体１のピッチ角Ｐｉの変化を示し、グラフＧ２２は、比較例の飛行体１ａのピッチ角Ｐｉの変化を示す。

【００７４】

グラフＧ２２に示すように、比較例の飛行体１ａでは、ピッチ角Ｐｉが２～３度程度常に傾斜していた。これに対して、飛行体１では、ピッチ角Ｐｉは±１度以内に収まった。すなわち、比較例の飛行体１ａと比較して、飛行体１では、ピッチ角Ｐｉの制御精度が向上した。

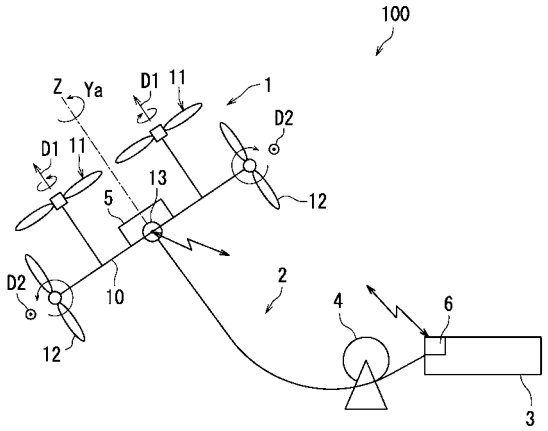
【００７５】

以上、図１～図７を参照して説明したように、本発明の実施形態では、第２ロータ群１２の推力を制御することによって飛行体１のヨー角Ｙａを高精度に制御することができた。また、第１ロータ群１１の推力を制御することによって飛行体１のピッチ角Ｐｉを高精度に制御することができた。

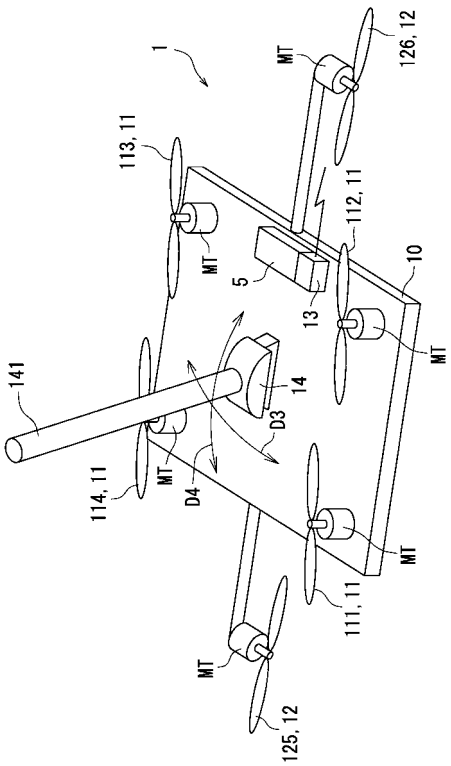
【００７６】
以上、図面を参照しながら本発明の実施形態について説明した。ただし、本発明は、上記の実施形態に限られるものではなく、その要旨を逸脱しない範囲で種々の態様において実施することが可能である（例えば、下記に示す（１）～（４））。図面は、理解し易くするために、それぞれの構成要素を主体に模式的に示しており、図示された各構成要素の厚み、長さ、個数等は、図面作成の都合上から実際とは異なる場合がある。また、上記の実施形態で示す各構成要素の形状、寸法等は一例であって、特に限定されるものではなく、本発明の構成から実質的に逸脱しない範囲で種々の変更が可能である。
【００７７】
（１）図１～図３を参照して説明したように、本発明の実施形態では、第１ロータ群１１が４つのロータ（第１ロータ１１１～第１ロータ１１４）を備えるが、本発明はこれに限定されない。第１ロータ群１１が３つ以上のロータを備えればよい。例えば第１ロータ群１１が３つのロータを備える形態でもよいし、第１ロータ群１１が５つ以上のロータを備える形態でもよい。
【００７８】
（２）図１～図３を参照して説明したように、本発明の実施形態では、第２ロータ群１２が２つのロータ（第２ロータ１２５及び第２ロータ１２６）を備えるが、本発明はこれに限定されない。第２ロータ群１２が２つ以上のロータを備えればよい。例えば第２ロータ群１２が３つ以上のロータを備える形態でもよい。
【００７９】
（３）図１～図３を参照して説明したように、本発明の実施形態では、第２ロータ群１２のトルクアームＲ２が第１ロータ群１１のトルクアームＲ１より長いが、本発明はこれに限定されない。第２ロータ群１２のトルクアームＲ２が所定長以上であればよい。換言すれば、所定長が、トルクアームＲ１より短い形態でもよい。第２ロータ群１２のトルクアームＲ２が長い程、小さい推力で大きいトルクを発生することができる。
【００８０】
（４）図１～図３を参照して説明したように、第２ロータ群１２の推力の第２方向Ｄ２が、第１ロータ群１１の推力の第１方向Ｄ１と直交するが、本発明はこれに限定されない。第２方向Ｄ２が、第１方向Ｄ１と交差する方向であればよい。
【産業上の利用可能性】
【００８１】
本発明は、飛行体制御システム、及び飛行体の分野に利用可能である。
【符号の説明】
【００８２】
１００　飛行体制御システム
１　飛行体
１０　筐体
１１　第１ロータ群
１１１、１１２、１１３、１１４　第１ロータ
１２　第２ロータ群
１２５、１５６　第２ロータ
１３　通信器
１４　吐出機構
１４１　ノズル
Ｍ　モータ
２　ケーブル
３　第１制御装置
４　長さ調整器
５　第２制御装置（制御装置）
６　通信器

ＭＴ　モータ
Ｆｅ　張力
Ｆ１～Ｆ６　推力
Ｙａ　ヨー角
Ｐｉ　ピッチ角
Ｒｏ　ロール角
Ｒ１、Ｒ２　トルクアーム
Ｔ１～Ｔ６　反トルク

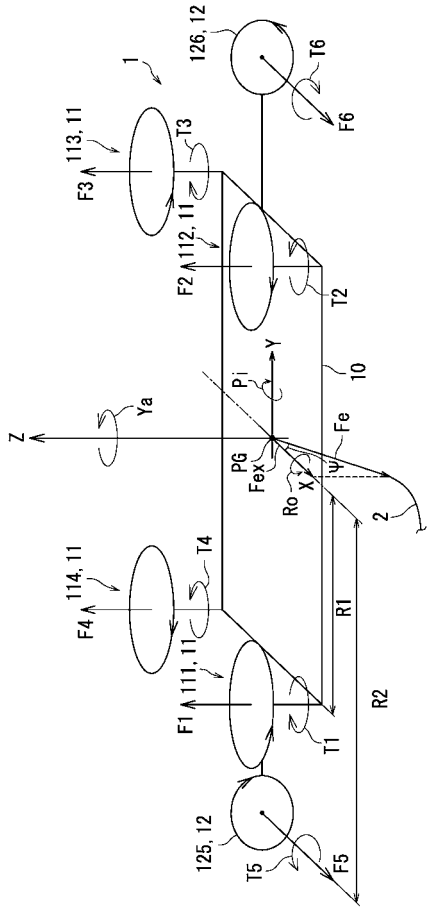
【図１】



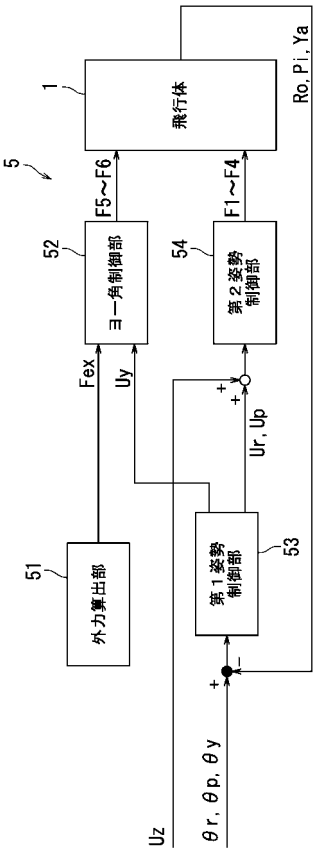
【図２】



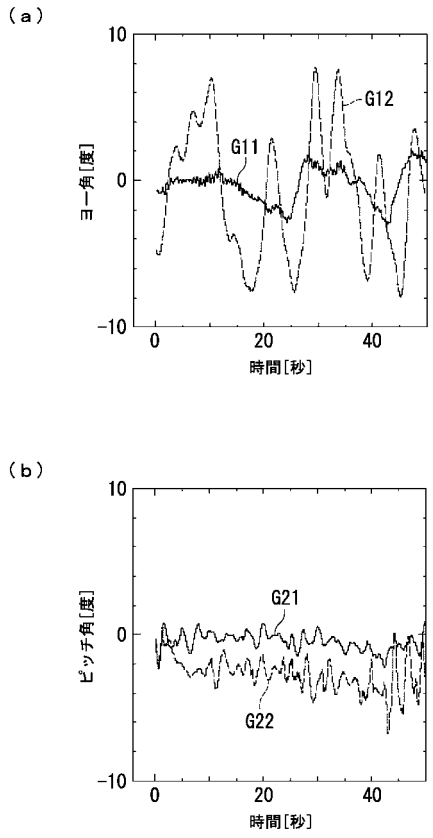
【図３】


1
126, 12
T6
F6
113, 11
T3
F3
112, 11
F2
T2
10
Y
Pi
Ya
Z
Fe
PG
Fex
Ro
X
ψ
2
T4
114, 11
F4
111, 11
F1
R1
R2
T1
125, 12
T5
F5

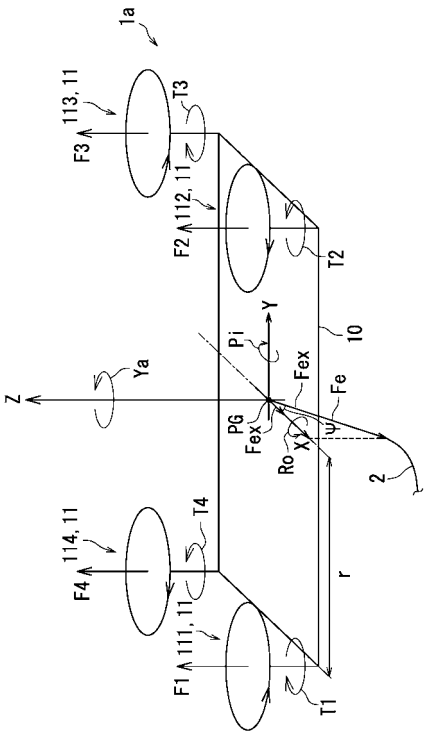
【図４】


飛行体
Ro, Pi, Ya
1
5
F5～F6
F1～F4
52
ヨー角制御部
54
第２姿勢制御部
Fex
Uy
Ur, Up
51
外力算出部
第１姿勢制御部
53
Uz
θr, θp, θy

【図５】


(a)
10
0
−10
ヨー角[度]
G12
G11
0
20
40
時間[秒]
(b)
10
0
−10
ピッチ角[度]
G21
G22
0
20
40
時間[秒]

【図６】


1a
113, 11
T3
F3
112, 11
F2
T2
10
Y
Pi
Ya
Z
Fex
Fe
PG
Fex
Ro
X
ψ
2
114, 11
T4
F4
111, 11
F1
r
T1

【図７】

