

(12) 特許協力条約に基づいて公開された国際出願

(19) 世界知的所有権機関
国際事務局

(43) 国際公開日
2024年7月4日(04.07.2024)



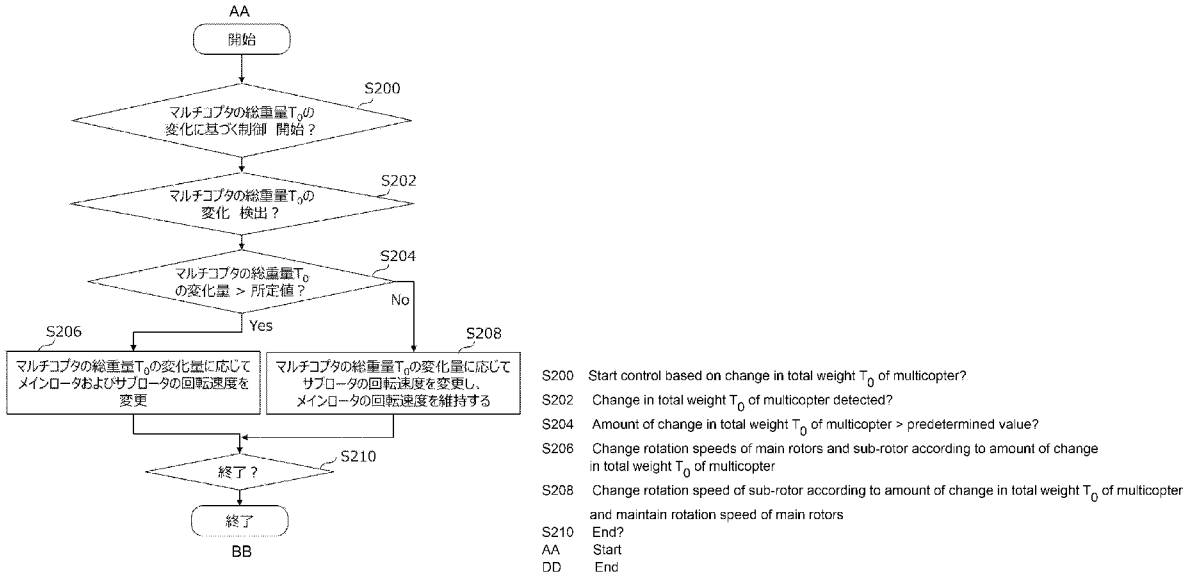
(10) 国際公開番号
WO 2024/142243 A1

- (51) 国際特許分類:
B64U 10/16 (2023.01) *B64U 101/40* (2023.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2022/048186
- (22) 国際出願日: 2022年12月27日(27.12.2022)
- (25) 国際出願の言語: 日本語
- (26) 国際公開の言語: 日本語
- (71) 出願人: 株式会社クボタ (KUBOTA CORPORATION) [JP/JP]; 〒5568601 大阪府大阪市浪速区敷津東1丁目2番47号 Osaka (JP). 株式会社石川エネルギーリサーチ (ISHIKAWA ENERGY RESEARCH CO., LTD.) [JP/JP]; 〒3792304 群馬県太田市大原町2225-41 Gunma (JP).
- (72) 発明者: 清野 幸平 (SEINO, Kohei); 〒5900908 大阪府堺市堺区匠町1番地11 株式会社クボタ グローバル技術研究所内 Osaka (JP). 石川 満 (ISHIKAWA, Mitsuru); 〒3792304 群馬県太田市大原町2225-41 株式会社石川エネルギーリサーチ内 Gunma (JP). 小野 恭稔 (ONO, Yasutoshi); 〒3792304 群馬県太田市大原町2225-41 株式会社石川エネルギーリサーチ内 Gunma (JP).
- (74) 代理人: 奥田 誠司 (OKUDA Seiji); 〒5410041 大阪府大阪市中央区北浜一丁目8番16号 大阪証券取引所ビル10階 奥田国際特許事務所 Osaka (JP).
- (81) 指定国(表示のない限り、全ての種類の国内保護が可能): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA,

(54) Title: UNMANNED AERIAL VEHICLE AND UNMANNED AERIAL VEHICLE CONTROL METHOD

(54) 発明の名称: 無人航空機および無人航空機の制御方法

[図7]



(57) Abstract: Provided is an unmanned aerial vehicle comprising a plurality of rotors and further comprising a control device that controls the rotation of the plurality of rotors. The plurality of rotors include a plurality of first rotors and at least one second rotor. The control device acquires information relating to the weight of the unmanned aerial vehicle and controls the rotation speed of the at least one second rotor on the basis of the acquired information. Also provided is a method for controlling an unmanned aerial vehicle comprising a plurality of rotors, the plurality of rotors including a plurality of first rotors and at least one second rotor, the method including: acquiring information relating to the weight of the unmanned aerial vehicle; and controlling the rotation speed of the at least one second rotor on the basis of the acquired information.

BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CV, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IQ, IR, IS, IT, JM, JO, JP, KE, KG, KH, KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, WS, ZA, ZM, ZW.

- (84) 指定国(表示のない限り、全ての種類の広域保護が可能): ARIPO (BW, CV, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SC, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシア (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), ヨーロッパ (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, ME, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

添付公開書類:

一 国際調査報告 (条約第21条(3))

(57) 要約: 無人航空機は、複数のロータを備える無人航空機であって、複数のロータの回転を制御する制御装置をさらに備える。複数のロータは、複数の第1ロータと、少なくとも1つの第2ロータとを含む。制御装置は、無人航空機の重量についての情報を取得し、取得した情報に基づいて、少なくとも1つの第2ロータの回転速度を制御する。制御方法は、複数のロータを備える無人航空機の制御方法であって、複数のロータは、複数の第1ロータと、少なくとも1つの第2ロータとを含み、無人航空機の重量についての情報を取得することと、取得した情報に基づいて、少なくとも1つの第2ロータの回転速度を制御することと、を含む。

明 細 書

発明の名称： 無人航空機および無人航空機の制御方法

技術分野

[0001] 本開示は、無人航空機および無人航空機の制御方法に関する。

背景技術

[0002] 無人航空機 (Unmanned Aerial Vehicle: UAV) は、構造上、人が乗ることができない航空機であって、遠隔操作または自動操縦により飛行することができる航空機である。回転翼型の無人航空機は、軸のまわりを回転するプロペラ、すなわち回転翼を利用して揚力を得る無人航空機である。複数の回転翼を備える小型の無人航空機 (Multi-Rotor UAV) は、「ドローン」、「マルチロータ」、または「マルチコプタ」とも呼ばれ、空撮、測量、物流、および農薬散布などの用途で広く利用されている。

[0003] 特許文献1には、農業機械の動作に連動して飛行位置を変更する無人航空機 (無人飛行体) が記載されている。

[0004] 特許文献2には、ペイロードおよび連続飛行時間を増加させることが可能で、かつ飛行時における位置姿勢の調整を正確に行うことができる無人航空機 (自律型飛行装置) が記載されている。

先行技術文献

特許文献

[0005] 特許文献1：特開2022-104737号公報

特許文献2：特開2019-59362号公報

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0006] 無人航空機の最大積載量 (ペイロード) および飛行時間は、用途によっては不十分であり、更なる改良が求められている。

[0007] 本開示は、ペイロードおよび／または飛行時間を増加することが可能で農

業用途に適した無人航空機を提供する。

課題を解決するための手段

[0008] 本開示の無人航空機は、例示的かつ非限定的な実施形態において、複数のロータを備える無人航空機であって、前記複数のロータの回転を制御する制御装置をさらに備え、前記複数のロータは、複数の第1ロータと、少なくとも1つの第2ロータとを含み、前記制御装置は、前記無人航空機の重量についての情報を取得し、取得した前記情報に基づいて、前記複数のロータに含まれる少なくとも1つの第2ロータの回転速度を制御する。

[0009] 本開示の無人航空機の制御方法は、例示的かつ非限定的な実施形態において、複数のロータを備える無人航空機の制御方法であって、前記複数のロータは、複数の第1ロータと、少なくとも1つの第2ロータとを含み、前記無人航空機の重量についての情報を取得することと、取得した前記情報に基づいて、前記少なくとも1つの第2ロータの回転速度を制御することと、を含む。

発明の効果

[0010] 本開示の無人航空機および無人航空機の制御方法の実施形態によれば、ペイロードおよび／または飛行時間を増加することが可能で農業用途に適した無人航空機を実現することができる。

図面の簡単な説明

[0011] [図1A]複数のロータを備える無人航空機においてロータを回転させる回転駆動装置の幾つかの例を模式的に示すブロック図である。

[図1B]複数のロータを備える無人航空機の基本的な構成例のひとつを模式的に示す平面図である。

[図1C]複数のロータを備える無人航空機の基本的な構成例のひとつを模式的に示す側面図である。

[図1D]複数のロータを備える無人航空機の基本的な他の構成例を模式的に示す平面図である。

[図2A]バッテリー駆動型のマルチコプタの基本構成例を示すブロック図である

。

[図2B]シリーズハイブリッド型のマルチコプタの基本構成例を示すブロック図である。

[図2C]パラレルハイブリッド型のマルチコプタの基本構成例を示すブロック図である。

[図3A]例示的な実施形態におけるマルチコプタを模式的に示す上面図である

。

[図3B]例示的な実施形態におけるマルチコプタを模式的に示す側面図である

。

[図4]例示的な実施形態のマルチコプタにおけるシステム構成の例を示すブロック図である。

[図5]パラレルハイブリッド駆動型のマルチコプタを模式的に示す平面図である。

[図6]各サブロータおよび各メインロータの回転速度を決定する処理の一例を示すフローチャートである。

[図7]制御装置が行う処理の一例を示すフローチャートである。

[図8A]制御装置が行う処理の一例を示すフローチャートである。

[図8B]マルチコプタの総重量が互いに異なる場合におけるメインロータの合計推力の変化を表す模式的な図である。

[図9A]制御装置が行う処理の一例を示すフローチャートである。

[図9B]マルチコプタの総重量が互いに異なる場合におけるメインロータの合計推力の変化を表す模式的な図である。

[図10]電動モータおよび内燃機関の制御方法の一例を示すフローチャートである。

[図11]フライトコントローラの構成例を示すブロック図である。

[図12]メインロータ用のPWM信号を生成するモジュールの構成例を示す図である。

[図13]サブロータ用のPWM信号のデューティ合算値およびメインロータ用

のPWM信号のデューティ値の時間変化の一例を示すグラフである。

[図14]メインロータ制御ユニットの構成例を示す図である。

[図15]メインロータ制御ユニットの他の構成例を示す図である。

[図16]PWM信号のデューティ比と、エンジン回転数との対応関係の一例を示すグラフである。

[図17]制御装置のハードウェア構成例を示すブロック図である。

[図18]マルチコプタが接続される通信ネットワークの例を模式的に示す図である。

発明を実施するための形態

[0012] 複数のロータを備える無人航空機は、ロータ（以下、「プロペラ」と称する場合がある。）を回転させる回転駆動装置を備えている。以下、このような無人航空機を「マルチコプタ」と称する。

[0013] マルチコプタが備える回転駆動装置の構成には多様な形態が存在している。図1Aは、本開示における回転駆動装置3の4つの例を模式的に示すブロック図である。

[0014] 図1Aに示される第1の回転駆動装置3Aは、複数のロータ2を回転させる複数の電動モータ（以下、「モータ」と称する。）14と、各モータ14に供給する電力を蓄えるバッテリー52とを有している。バッテリー52は、例えば、ポリマー型リチウムイオン電池などの二次電池である。各ロータ2は、対応するモータ14の出力軸に連結され、モータ14によって回転させられる。ペイロードおよび／または飛行時間を増加させるには、バッテリー52の蓄電容量を増加させることが必要である。バッテリー52の蓄電容量は、バッテリー52を大型化することによって可能であるが、バッテリー52の大型化は重量の増加を招く。

[0015] 図1Aに示される第2の回転駆動装置3Bは、ロータ2に機械的に接続される動力伝達系23と、動力伝達系23に駆動力（トルク）を与える内燃機関7aとを有している。動力伝達系23は、例えばギアまたはベルトなどの機械的部品を含み、内燃機関7aの出力軸のトルクをロータ2に伝達する。

内燃機関 7 a は、燃料の燃焼によって効率よく機械的エネルギーを発生させることができる。内燃機関 7 a の例は、ガソリンエンジン、ディーゼルエンジン、水素エンジンを含み得る。また、回転駆動装置 3 B に含まれる内燃機関 7 a の個数は 1 個に限定されない。

[0016] 図 1 A に示される第 3 の回転駆動装置 3 C は、複数のモータ 1 4 と、各モータ 1 4 に供給する電力を蓄える電力バッファ 9 と、電力を発生させるオルタネータなどの発電装置 8 と、発電装置 8 に発電のための機械的エネルギーを与える内燃機関 7 a とを有している。電力バッファ 9 の典型例は、二次電池などのバッテリーであるが、キャパシタであってもよい。第 3 の回転駆動装置 3 C では、電力バッファ 9 の蓄電容量が大きくない場合でも、内燃機関 7 a の駆動力（機械的エネルギー）を利用して発電装置 8 が電力を生成するため、ペイロードおよび／または飛行時間を増加させることが可能になる。このような形式の駆動は、「シリーズハイブリッド駆動」と呼ばれる。シリーズハイブリッド駆動における発電装置 8 および内燃機関 7 a は、マルチコプタの飛行距離を延ばすため、「レンジエクステンダ」と呼ばれる。

[0017] 図 1 A に示される第 4 の回転駆動装置 3 D は、複数のモータ 1 4 と、各モータ 1 4 に供給する電力を蓄える電力バッファ 9 と、電力を発生させるオルタネータなどの発電装置 8 と、発電装置 8 に発電のための駆動力を与える内燃機関 7 a と、内燃機関 7 a が生成する駆動力をロータ 2 に伝達してロータ 2 を回転させる動力伝達系 2 3 とを有している。複数のロータ 2 の少なくとも 1 つのロータ 2 が内燃機関 7 a によって回転させられ、他のロータ 2 がモータ 1 4 によって回転させられる。第 4 の回転駆動装置 3 D では、内燃機関 7 a が生成する機械的エネルギーを電力に変換することなく、ロータ 2 の回転にも利用できるため、エネルギーの利用効率を高めることが可能になる。このような形式の駆動は、「パラレルハイブリッド駆動」と呼ばれる。

[0018] 図 1 B は、マルチコプタ 1 0 の基本的な構成例のひとつを模式的に示す平面図である。図 1 B の構成例は、回転駆動装置 3 として、図 1 A に示される第 1 の回転駆動装置 3 A を備えている。すなわち、この例における回転駆動

装置 3 (3A) は、モータ 14 と、バッテリー 52 とを有している。図 1C は、マルチコプタ 10 を模式的に示す側面図である。

[0019] 図 1B および図 1C に示されるマルチコプタ 10 は、複数のロータ 2 と、機体本体 4 と、ロータ 2 および機体本体 4 を支持する機体フレーム 5 とを備える。機体フレーム 5 は、中央部で機体本体 4 を支持し、中央部から外側に延びる複数のアーム 5A で複数のロータ 2 を回転可能に支持している。各アーム 5A の先端付近にはロータ 2 を回転させるモータ 14 が設けられている。機体本体 4 と機体フレーム 5 とを総称して「機体 11」ということがある。

[0020] 図 1B の例において、マルチコプタ 10 は、4 個のロータ 2 を備えるクワッド型のマルチコプタ (クワッドコプタ) である。ひとつの対角線上に位置するロータ 2 は同一方向 (時計回りまたは反時計回り) に回転するが、異なる対角線上に位置するロータ 2 は反対方向に回転する。

[0021] 機体本体 4 は、マルチコプタ 10 に搭載された装置および部品の動作を制御する制御装置 4a と、制御装置 4a に接続されたセンサ群 4b と、制御装置 4a に接続された通信装置 4c と、バッテリー 52 と、を含む。

[0022] 制御装置 4a は、例えば、フライトコントローラなどの飛行制御装置と、上位のコンピュータ (コンパニオンコンピュータ) とを含み得る。コンパニオンコンピュータは、センサ群 4b によって取得したセンサデータに基づいて、画像処理、障害物検出、障害物回避などの高度な演算処理を実行することができる。

[0023] センサ群 4b は、加速度センサ、角速度センサ、地磁気センサ、気圧センサ、高度センサ、温度センサ、流量センサ、撮像装置、レーザセンサ、超音波センサ、障害物接触センサ、GNSS (Global Navigation Satellite System) レシーバを含み得る。加速度センサおよび角速度センサは、例えば IMU (Inertial Measurement Unit) の構成部品として機体本体 4 に搭載されていてもよい。レーザセンサの例は、例えば地上までの距離の計測に用いられるレー

ザレンジファインダ、および、2次元または3次元のLiDAR (light detection and ranging) を含む得る。

[0024] 通信装置4cは、アンテナを介して、地上にある送信機または地上局 (Ground Control Station: GCS) との間で信号の送受信を行うための無線通信モジュール、セルラー通信網を利用する移動体通信モジュールなどを含む得る。通信装置4cは、地上から送信された制御コマンドなどの信号を受信し、センサ群4bによって取得した画像データなどのセンサデータをテレメトリ情報として送信し得る。通信装置4cは、マルチコプタ同士で通信を行う機能、および衛星通信の機能を有していてもよい。制御装置4aは、通信装置4cによってクラウド上のコンピュータと接続することが可能である。コンパニオンコンピュータの機能の一部または全部が、クラウド上のコンピュータによって実行されてもよい。

[0025] バッテリ52は、充電によって電力を蓄え、放電によって電力をモータ14に供給することができる二次電池である。バッテリ52および複数のモータ14の働きにより、複数のロータ2が回転駆動され、所望の推力を発生することが可能になる。

[0026] 複数のロータ2のそれぞれは、一般には、固定されたピッチ角を有する複数枚の羽根 (ブレード) を有し、回転によって推力を発生する。ピッチ角は可変であってもよい。複数のロータ2の全てが同一の直径 (プロペラ径) を有する必要はなく、1または複数のロータ2が、他のロータ2よりも大きな直径を有していてもよい。回転するロータ2によって生じる推力 (静止推力) は、一般に、ロータ2の直径の3乗に比例する。このため、直径が異なるロータ2を備える場合、直径が相対的に大きなロータ2を「メインロータ」と称し、相対的に小さなロータ2を「サブロータ」と称する場合がある。なお、直径の大小によらず、回転駆動装置3の構成により、発生可能な推力が相対的に大きなロータ2と、その推力が相対的に小さなロータ2とを含んでもよい。その場合、発生可能な推力が相対的に大きなロータ2を「メインロータ」と称し、相対的に小さなロータ2を「サブロータ」と称してもよ

い。例えば、1回転あたりに発生する推力が相対的に大きなロータ2を「メインロータ」と称し、1回転あたりに発生する推力が相対的に小さなロータ2を「サブロータ」と称してもよい。ある例において、メインロータは、サブロータよりも内側に配置され得る。言い換えれば、機体の中心から各メインロータの回転軸までの距離が、機体の中心から各サブロータの回転軸までの距離よりも短くなるように、各ロータ2が配置され得る。

[0027] この例において、回転駆動装置3は、複数のモータ14を有している。前述したように、回転駆動装置3は、内燃機関7aを含んでいてもよい。

[0028] 図1Dは、回転駆動装置3として第2の回転駆動装置3Bを備えるマルチコプタ10の基本的な構成例を模式的に示す平面図である。図1Dに示される例において、内燃機関7aは、機体本体4によって支持されている。この例において、内燃機関7aによって生成される駆動力は、複数の動力伝達系23によって複数のロータ2に伝達され、それぞれのロータ2を回転させる。制御装置4aは、各動力伝達系23を制御することにより、個々のロータ2の回転速度を変化させることができる。回転駆動装置3Bは、複数のロータ2のそれぞれのブレードのピッチ角を変更する機構を備えていてもよい。その場合、制御装置4aは、その機構を制御してブレードのピッチ角を変更することで、各ロータ2に発生させる揚力を調整してもよい。

[0029] なお、複数のロータ2の一部が内燃機関7aによって回転させられ、他のロータ2がモータ14によって回転させられる「パラレルハイブリッド駆動」では、機体本体4に内燃機関7aおよびバッテリー52が支持される。複数のロータ2の少なくとも1つのロータ2が動力伝達系23を介して内燃機関7aに連結され、他のロータ2がモータ14に連結される。

[0030] このようなパラレルハイブリッド駆動では、内燃機関7aによって回転させられる1または複数のロータ2の直径を、モータ14によって回転させられる他のロータ2の直径よりも大きくする場合がある。言い換えると、内燃機関7aがメインロータの回転に用いられ、モータ14がサブロータの回転に用いられる場合がある。このような場合、メインロータは主に推力の生成

に用いられ、サブロータは推力の生成および姿勢制御に用いられる。メインロータを「ブースタロータ」、サブロータを「姿勢制御ロータ」と呼んでもよい。

[0031] パラレルハイブリッド駆動の場合、内燃機関は、推力の生成および発電の両方に用いられる。内燃機関が生成する駆動力（トルク）を、ロータおよび発電装置の一方または両方に選択的に伝達することにより、推力の生成および発電をバランスよく行うことも可能である。

[0032] マルチコプタが内燃機関を搭載し、内燃機関によって推力の生成および発電の少なくとも一方を行うことは、ペイロードおよび飛行時間の増加に寄与する。マルチコプタの姿勢制御は、応答特性が内燃機関よりも優れるモータによってプロペラを回転させて行うことが望ましい。このため、マルチコプタの姿勢を正確に制御する必要がある用途において、ペイロードおよび飛行時間を増加させるためには、パラレルハイブリッド駆動またはシリーズハイブリッド駆動を採用することが望ましい。なお、回転駆動装置3が複数のロータ2のそれぞれのブレードのピッチ角を変更する機構を備えている場合は、各ブレードのピッチ角を変更することによって姿勢を調整することもできる。

[0033] ペイロードおよび飛行時間の増加により、マルチコプタの用途は更に拡大し得る。例えば、農業分野では、現在、マルチコプタが農薬散布または作物生育状況のモニタリングなどに利用されつつあるが、多様な対地作業機（以下、単に「作業機」と称することがある。）をマルチコプタに連結することにより、様々な農作業を空中から実行することが可能になる。農業用途の作業機は、「インプラメント」と呼ばれることがある。作業機の例は、作物に薬剤を噴霧するスプレイヤ、モア（草刈機）、シーダ（播種機）、スプレッタ（施肥機）、レーキ、ベアラ（集草機）、ハーベスタ（収穫機）、プラウ、ハロー、またはロータリなどを含み得る。トラクタなどの作業車両は、本開示における「作業機」には含まれない。

[0034] 図1Cに示される例において、マルチコプタ10には、例えば農薬または

肥料を圃場または圃場内の作物に対して散布することができる作業機200が連結されている。ペイロードおよび飛行時間の増加により、作業機200の大型化および／または多機能化を実現することが可能になる。例えば、マルチコプタ10に連結する作業機200を交換することにより、液状施薬、粒状施薬、施肥、間引き、除草、移植、種子の直播、および収穫を含む、多様な対地作業（農作業）を実行することが可能になる。作業機200は、ロボットハンドなどの機構を備えていてもよい。その場合、1つの作業機200が多様な対地作業を実行することが可能になる。作業機200が物資を収容する十分な大きさのスペースを備えていれば、そのような作業機200によって広い範囲にわたって農業資材または収穫物を運搬することも可能になる。作業機200をマルチコプタ10に連結する形態は多様である。マルチコプタ10は、ケーブルによって作業機200を吊り下げ、牽引してもよい。マルチコプタ10によって牽引された作業機200は、マルチコプタ10が飛行またはホバリングしている間、牽引された状態で対地作業を行うことも可能である。作業中の作業機200は空中にあってもよいし、地上にあってもよい。

[0035] 図1Cに示される例において、マルチコプタ10は給電装置76を備えている。給電装置76は、マルチコプタ10が備えるバッテリー52または発電装置8などの駆動エネルギー源から、作業機200に電力を供給する装置である。作業機200の種々の機能は、この電力によって実行され得る。作業機200は、マルチコプタ10の給電装置76から得た電力によって動作するモータなどのアクチュエータを備えている。作業機200は、電力を蓄えるバッテリーを備えていることが好ましい。

[0036] 図2Aは、バッテリー駆動型のマルチコプタ10の基本構成例を示すブロック図である。バッテリー駆動型のマルチコプタ10は、複数のロータ12と、複数のロータ12をそれぞれ回転させる複数のモータ14と、複数のモータ14をそれぞれ駆動するモータ駆動回路を有する複数のESC (Electric Speed Controller) 16と、各ESC16を介し

て対応するモータ14に電力を供給するバッテリー52と、複数のESC16を制御して姿勢を制御しながら飛行を行うための制御装置4aと、センサ群4bと、通信装置4cと、バッテリー52に電氣的に接続される給電装置76と、を備えている。図2Aでは、簡単のため、ロータ12、モータ14、およびESC16がそれぞれ1個のブロックによって示されているが、ロータ12、モータ14、およびESC16の個数は、それぞれ、複数である。この点は、図2B、図2Cについても同様である。ESC16は制御装置4aに含まれていてもよい。

[0037] 制御装置4aは、通信装置4cを介して、例えば、地上にある地上局6からの制御指令を無線で受け取ることが可能である。地上局6の個数は、1個に限定されず、複数の場所に分散配置されていてもよい。通信装置4cは、地上にいる操縦者の操縦装置から制御指令を無線で受け取ることも可能である。制御装置4aは、センサ群4bから得られるセンサデータに基づいて、離陸、飛行、障害物回避、および着陸の各動作を自動的または自律的に実行する機能を有していてもよい。制御装置4aは、給電装置76に接続された作業機200との間で通信を行い、作業機200の状態を示す信号を作業機200から取得するように構成されていてもよい。また、制御装置4aは、作業機200の動作を制御する信号を作業機200に与えてもよい。更に、作業機200がマルチコプタ10の動作を指示する信号を生成して、制御装置4aに送信してもよい。このような制御装置4aと作業機200との間の通信は、有線または無線で行われ得る。

[0038] 図2Bは、シリーズハイブリッド駆動型のマルチコプタ10の基本構成例を示すブロック図である。シリーズハイブリッド駆動型のマルチコプタ10は、バッテリー駆動型のマルチコプタ10と同様に、複数のロータ12と、複数のモータ14と、複数のESC16と、制御装置4aと、センサ群4bと、通信装置4cとを備えている。図示されるシリーズハイブリッド駆動型のマルチコプタ10は、更に、内燃機関7aと、内燃機関7aの燃料を蓄える燃料タンク7bと、内燃機関7aによって駆動されて電力を生成する発電装

置 8 と、発電装置 8 が生成した電力を一時的に貯蔵する電力バッファ 9 と、電力バッファ 9 に電氣的に接続される給電装置 7 6 と、を備えている。電力バッファ 9 は、例えば二次電池などのバッテリーである。発電装置 8 によって生成された電力は、電力バッファ 9 および ESC 1 6 を介してモータ 1 4 に供給される。また、発電装置 8 によって生成された電力は、給電装置 7 6 を介して作業機 2 0 0 にも供給され得る。

[0039] 図 2 C は、パラレルハイブリッド駆動型のマルチコプタ 1 0 の基本構成例を示すブロック図である。パラレルハイブリッド駆動型のマルチコプタ 1 0 は、シリーズハイブリッド駆動型のマルチコプタ 1 0 と同様に、複数のロータ 1 2 と、複数のロータ 1 2 をそれぞれ駆動する複数のモータ 1 4 と、複数の ESC 1 6 と、制御装置 4 a と、センサ群 4 b と、通信装置 4 c と、内燃機関 7 a と、燃料タンク 7 b と、発電装置 8 と、電力バッファ 9 と、給電装置 7 6 と、を備えている。パラレルハイブリッド駆動型のマルチコプタ 1 0 は、更に、内燃機関 7 a の駆動力を伝達するドライブトレイン 2 7 と、ドライブトレイン 2 7 から内燃機関 7 a の駆動力を受けて回転するロータ 2 2 と、を備える。ロータ 1 2 およびロータ 2 2 の一方を「第 1 ロータ」と呼び、他方を「第 2 ロータ」と呼んで、互いを区別する場合がある。ドライブトレイン 2 7 に接続されて回転するロータ 2 2 は、1 個であってもよいし、2 個以上であってもよい。

[0040] パラレルハイブリッド駆動型のマルチコプタ 1 0 では、内燃機関 7 a は、発電装置 8 を駆動して発電を行うだけでなく、ロータ 2 2 を回転させるためのエネルギーを機械的にロータ 2 2 に伝達する。一方、シリーズハイブリッド駆動型のマルチコプタ 1 0 では、発電装置 8 が生成する電力によって全てのロータ 1 2 が回転する。このため、シリーズハイブリッド駆動型のマルチコプタ 1 0 では、発電装置 8 が例えば燃料電池であれば、内燃機関 7 a は必須の構成要素ではない。

[0041] 以下、パラレルハイブリッド駆動を行うマルチコプタを例にとり、本開示の実施形態に係る無人航空機の構成例および動作例を説明する。

[0042] <基本構成>

図3Aは、本実施形態におけるマルチコプタ100を模式的に示す上面図であり、図3Bは、その側面図である。図3Bでは、マルチコプタ100に連結された作業機200が記載されている。マルチコプタ100には、作業機200とともに、あるいは、作業機200に代えて、荷物、農業用資材、他の機械、または、それらを収容することができる容器、ケース、もしくはパッケージが連結され得る。以下、作業機200の重量および作業機そのものを「ペイロード」と称する場合がある。マルチコプタ100と作業機200などとの「連結」は、種々の器具または装置によって行われ得る。

[0043] 図3Aに示されるマルチコプタ100は、8個のサブロータ12と、2個のメインロータ22とを備える。サブロータ12は、同軸で反対方向に回転するプロペラ12aおよびプロペラ12bの4個の組から構成されている。プロペラ12aおよびプロペラ12bのそれぞれは、2枚羽根（2ブレード）を有している。プロペラ12a、12bは、それぞれ、モータ14に回転させられる。同軸で反対方向に回転するプロペラ12aおよびプロペラ12bの4個の組は、それぞれ、四角形の頂点の位置にある。メインロータ22は、異なる位置で反対方向に回転する2枚のプロペラ22aから構成されている。各プロペラ22aは4枚羽根（4ブレード）を有している。サブロータ12の8個のプロペラ12a、12bは、互いに同じピッチ角および直径を有している。メインロータ22の2個のプロペラ22aも、互いに同じピッチ角および直径を有している。プロペラ22aの直径は、プロペラ12a、12bの直径の1.2倍以上、例えば1.4倍以上2.0倍以下、である。

[0044] マルチコプタ100は、サブロータ12のための4本のアーム110Aと、メインロータ22のための2本のアーム110Bとを有する機体フレーム110を備えている。機体フレーム110は、後述する種々の電子部品および機械部品を含む機体本体120を支持している。機体本体120と機体フレーム110とを総称して「機体121」ということがある。

[0045] 図3Bの例において、機体本体120は、給電装置76と、作業機200との連結などに用いられるアクチュエータ78と、を有している。給電装置76は、機体本体120内で発生した電力を作業機200に供給する装置である。アクチュエータ78は、マルチコプタ100の機体本体120に作業機200を連結するための動作を実行する電動モータなどの装置である。図3Bの例において、アクチュエータ78は、機体本体120と作業機200と繋ぐケーブルを巻き上げる機構を駆動する。このケーブルは、作業機200のための電力をマルチコプタ100から供給するための電源ライン、および、マルチコプタ100と作業機200との間で通信を行うための通信ラインを含み得る。

[0046] <システム構成>

図4は、本実施形態のマルチコプタ100におけるシステム構成の例を示すブロック図である。

[0047] 図示される例において、マルチコプタ100の機体本体120は、フライトコントローラ32を含む制御装置30と、センサ群72と、通信装置74とを有する。これらについては、図1Aを参照しながら説明したマルチコプタ10の機体本体4が有する制御装置4a、センサ群4b、および通信装置4cと基本的には同様である。

[0048] 本実施形態におけるマルチコプタ100は、8個のサブロータ12と、8個のサブロータ12をそれぞれ回転させる8個のモータ14と、8個のモータ14をそれぞれ制御する8個のESCとを備えている。各ESC16は、配線82を介して、制御装置30からモータ14を制御するための信号（モータ制御信号）を受け取る。モータ制御信号は、例えばPWM（Pulse With Modulation）信号である。モータ制御信号がPWM信号である場合、PWM信号のデューティがモータ回転速度のアナログ値を示すことができる。各ESC16は、制御装置30からのモータ制御信号に基づいて、そのESC16に接続されたモータ14の回転速度を制御する。図4では、簡単のため、1セットの「サブロータ12、モータ14およびE

SC16」が記載されているが、本実施形態のマルチコプタ100は、8セットの「サブロータ12、モータ14およびESC16」を備えている。これらのセット数は、8個に限定されない。

[0049] 制御装置30は、電氣的に独立した配線82を介して個々のESC16に接続されており、8個のESC16のそれぞれを個別に制御することができる。前述したように、サブロータ12は、揚力を生成するだけでなく、姿勢制御に用いられる。姿勢制御は、制御装置30のフライトコントローラ32がセンサ群72から機体本体120の姿勢を示す測定値または推定値を得て現在の機体本体120の姿勢を決定し、目標とする姿勢との差異に応じて個々のモータ14の回転速度を制御することによって達成される。

[0050] 機体本体120は、メインロータ22を駆動するメインロータ駆動部24と、メインロータ駆動部24を制御するメインロータ制御ユニット26と、を有している。本実施形態において、メインロータ駆動部24は内燃機関である。このため、メインロータ制御ユニット26はエンジン制御ユニット（Engine Control Unit：ECU）を含んでいる。メインロータ制御ユニット26は、内燃機関であるメインロータ駆動部24のアクセル開度、吸気温度、エンジン回転数、各部の温度などのセンサデータを取得して内燃機関の制御を実行することができる。メインロータ制御ユニット26は、例えばCAN（Controller Area Network）バスなどの配線82を介して制御装置30に接続されている。メインロータ制御ユニット26は、制御装置30から送信される信号に基づいて、エンジン制御信号を出力するように構成されている。エンジン制御信号は、例えばスロットル開度を含む。制御装置30とメインロータ制御ユニット26との間には、デジタルーアナログ変換器（DAC）および／または電圧変換器が接続されていてもよい。メインロータ駆動部24とメインロータ22との間には、クラッチおよび減速機などの機械装置が設けられ得る。

[0051] メインロータ駆動部24は、振動が少ない内燃機関であることが望ましい。本実施形態におけるメインロータ駆動部24は、例えば、対向ピストン型

エンジンである。対向ピストン型エンジンは、例えば特許第5508604号に開示されている。特許第5508604号の内容全体をここに援用する。

[0052] 内燃機関であるメインロータ駆動部24は、オルタネータなどの発電装置42を駆動して発電を行うことができる。本実施形態における発電装置42は、ロータおよびステータを有する交流同期モータの構造を有している。このため、発電装置42は、メインロータ駆動部24の起動時には、通電によってロータを回転させることにより、「スタータ」としても機能し得る。発電装置42は、発電によって生じた交流を整流して直流に変換する。発電装置42は、モータ14の駆動に必要な直流電力を生成し、配線80を介して各ESC16に供給する。発電装置42は、例えば250V以上の直流電圧を出力するように構成されている。なお、配線80は電力用配線であり、配線82は信号用配線である。配線80、82のそれぞれは、複数の導線を含む。

[0053] 発電装置42は、パワーマネジメント装置44に接続されている。パワーマネジメント装置44は、制御装置30および後述するバッテリーマネジメント装置54に接続されている。パワーマネジメント装置44は、制御装置30またはバッテリーマネジメント装置54からの信号に基づいて、発電装置42による発電量を制御することができる。この発電量は、内燃機関であるメインロータ駆動部24のエンジン回転数が一定の状態にあるときでも、モータ14およびバッテリー52が必要とする電力に応じて、パワーマネジメント装置44によって可変に制御され得る。

[0054] 機体本体120は、例えばリチウムイオン二次電池の複数のセルが直列または並列に接続されたバッテリー52と、バッテリー52の充放電を制御するバッテリーマネジメント装置54と、を更に備えている。

[0055] バッテリー52は、パワースイッチ56を介して、発電装置42からの直流電力を受けとり、その電力によって充電され得る。パワースイッチ56の動作は、バッテリーマネジメント装置54および制御装置30によって制御さ

れ得る。バッテリーマネジメント装置54は、バッテリー52を流れる電流、セル電圧、セルバランス、充電率 (State Of Charge: SOC)、健全度 (State Of Health: SOH)、温度などの、バッテリー52の状態を規定するパラメータ値を測定または推定する装置である。

[0056] バッテリーマネジメント装置54は、バッテリー52の状態に応じて、パワースイッチ56を制御することができる。例えば、バッテリー52が充電を必要とする状態にあるとき、バッテリーマネジメント装置54は、パワースイッチ56によって発電装置42とバッテリー52とを電氣的に接続し、発電装置42からの電力をバッテリー52に供給して充電動作を実行する。このとき、バッテリーマネジメント装置54は、ESC16に供給される電力が所望のレベルよりも低下しないように、パワーマネジメント装置44を制御し、発電装置42による発電の量を増加させることができる。一方、バッテリー52が充電を必要としない状態にあるとき、バッテリーマネジメント装置54は、パワースイッチ56によって発電装置42とバッテリー52との間の電氣的接続を切断し、バッテリー52への充電を停止する。

[0057] 本実施形態において、バッテリー52の蓄電容量は、発電装置42による発電が何らかの原因で停止してメインロータ22による揚力が失われた場合においても、サブロータ12による揚力生成および姿勢制御を継続して着陸が可能な場所まで飛行し、そこに着陸することが可能な値を有している。言い換えると、本実施形態のマルチコプタ100が通常に飛行しているとき、サブロータ12の駆動に必要な電力は、バッテリー52からではなく、発電装置42からESC16に供給され得る。このため、ペイロードおよび飛行時間を増加させる場合でも、それに合わせてバッテリー52の蓄電容量を増加させる必要性は低い。

[0058] なお、バッテリー52に蓄えられた電力は、例えば250V以上の直流電圧として出力され得る。ただし、この直流電圧は、充電率の低下に伴って低下する。このため、充電率が所定レベルよりも低下した場合には、バッテリーマ

ネージメント装置 54 は、発電装置 42 からの直流電力の一部をバッテリー 52 に供給してバッテリー 52 の充電を行うように動作する。

[0059] バッテリー 52 は、パワー回路基板 60 に接続されている。パワー回路基板 60 は、バッテリー 52 から出力される電圧を、例えば 24 V、12 V、5 V に降圧する機能を有している。バッテリー 52 から出力される直流電圧は、パワー回路基板 60 によって所望の電圧に変換されてから、他の電子部品に供給される。図 4 の例において、パワー回路基板 60 によって降圧された電力は、配線 80 を介して、制御装置 30 およびアクチュエータ 78 に供給されている。

[0060] 図 4 の例において、給電装置 76 は、パワースイッチ 56 によって発電装置 42 またはバッテリー 52 に電氣的に接続される。この例における給電装置 76 は、機体本体 120 内で発生した電力を作業機 200 などの外部の機械または装置に供給するように構成されている。

[0061] 機体本体 120 は、図 4 に示されていない構成を有し得る。例えば、機体本体 120 は、メインロータ駆動部 24 の動作に必要な燃料を蓄える燃料タンク、メインロータ駆動部 24 を冷却するための水冷または空冷の装置、照明装置および電動ポンプなどの電装品を含み得る。電装品は、パワー回路基板 60 によって所定の電圧に降圧された電力によって動作することができる。なお、電装品用のバッテリー(補機バッテリー)が設けられ、電装品に電力を供給するように構成されてもよい。そのような補器バッテリーの充電がバッテリー 52 または発電装置 42 から行われてもよい。

[0062] 本実施形態において、モータ 14 は、複数の第 1 ロータ (サブロータ) 12 をそれぞれ駆動する複数の「姿勢制御装置」として機能する。また、内燃機関であるメインロータ駆動部 24 は、第 2 ロータ (メインロータ) 22 を駆動する「主推力発生装置」として機能する。

[0063] 図 4 に示される例において、制御装置 30 とメインロータ制御ユニット 26 とは別々の構成要素であるが、1 個の制御装置 (コンピュータまたは ECU) が制御装置 30 およびメインロータ制御ユニット 26 の機能を有してい

てもよい。

[0064] 本実施形態では、制御装置30が、複数のモータ14から得られるサブロータ12の合計の推力（第1推力）と、メインロータ駆動部24から得られるメインロータ22の合計の推力（第2推力）との比率（推力比率）を変化させることが可能である。以下、この点を詳細に説明する。

[0065] 一般に、モータ14の応答性は内燃機関の応答性よりも優れている。ロータ12、22の回転に必要なトルクについて、トルク指令信号が入力された時点からトルク目標値に達するまでの時間を「応答時間」と呼ぶ場合、モータの応答時間は、内燃機関の応答時間の例えば1/100程度である。このため、マルチコプタ100の姿勢を制御するには、マルチコプタ100の姿勢角について、現在値と目標値との差異を検出し、この差異を小さくするように、複数のサブロータ12のそれぞれの回転速度を高い応答速度で制御することが望ましい。ロータの回転速度の増加は推力の増加を生む。複数のサブロータ12のそれぞれの推力を調整することにより、マルチコプタ100の姿勢を高精度に、かつ、迅速に制御することが可能になる。

[0066] 一方、内燃機関は大きな推力を効率的に発生させることができる。サブロータ12の回転は、内燃機関であるメインロータ駆動部24の動力によって生成される電力を用いて行われるが、機械的エネルギーを電気的エネルギーに変換するときのエネルギー損失が発生する。このため、エネルギー消費効率を高める観点から、メインロータ駆動部24は、メインロータ22を回転させて主推力発生に利用されることが好ましい。また、メインロータ22の推力を高めるため、メインロータ22の直径は、複数のサブロータ12のそれぞれの直径よりも大きいことが好ましい。

[0067] しかし、主推力発生用のメインロータ22が大きな推力を発生させているとき、その大きな推力および回転モーメントが、かえってサブロータ12による姿勢制御の働きを抑制することがある。その結果、応答性に優れた複数のモータ14を用いて複数のサブロータ12を回転させても、姿勢制御に回答の遅れが生じる場合がある。一方、メインロータ22の回転数を下げると

、姿勢制御性能は向上するが、エネルギー消費効率は下がってしまう。

[0068] なお、バッテリー駆動型のマルチコプタでは、複数のモータのそれぞれのトルクを調整して各ロータの推力を整え、所望の姿勢に制御する種々のアルゴリズムが用いられている。そのような複数のモータによって姿勢制御を行う場合において、内燃機関によって回転させられるロータを追加することは、姿勢制御に必要な演算を複雑にする可能性がある。このような複雑化を回避するには、複数のモータから得られる推力と内燃機関から得られる推力の「比率」を固定することが有効である。このため、従来のパラレルハイブリッド型では、この比率を固定する制御方法が採用されてきた。

[0069] しかしながら、本発明者らの検討の結果、マルチコプタ100を例えば農作業に利用する場合は、単なる物流や監視の用途でマルチコプタ100を飛行させる場合に比べ、上記の「比率」を固定するのではなく可変にすることが好ましいことが分かった。これは、農業用途で飛行するときのマルチコプタ100は、圃場内における種々の農作業（対地作業）、複数の圃場間の移動、農業資材または収穫物の運搬など、様々に異なる条件のもとで飛行するため、それらの条件によって、姿勢制御に求められる応答速度のレベルが大きく変化するためである。また、農作業の内容に応じて重量および形状が多様な作業機を適宜選択して連結する場合、必要な揚力および姿勢制御の精度も大きく変化し得る。

[0070] 本実施形態では、精密な姿勢制御が不要であるとき、例えば風などの外乱が少なく、ペイロードも小さいとき、あるいは、作業機による作業を行わずに移動のみを行うときなどの状況では、メインロータ22の推力を増加し、その代わりに、サブロータ12の推力を減らすことができる。

[0071] 一方、精密な姿勢制御が必要なとき、例えば、作業機を連結して飛行しながら対地作業を実行するとき、あるいは、通常の飛行よりも機体本体を俊敏に動かして姿勢を変化させることが求められるときには、メインロータ22の推力を減らし（あるいは無くし）、その代わりに、サブロータ12の推力を増やすことが好ましい。このようにメインロータの推力を減少させること

は、エネルギー消費効率の全体としての低下を招くが、姿勢制御性能（応答性能）を向上させることを可能にする。

[0072] <メインロータおよびサブロータの回転速度の決定>

次に、各メインロータ22および各サブロータ12の回転速度を決定する方法の例を説明する。

[0073] 図5は、パラレルハイブリッド駆動型のマルチコプタ100を模式的に示す平面図である。図5には、互いに直交するx軸、y軸、z軸によって規定されるxyz座標系が示されている。この座標系はマルチコプタ100の機体に固定されており、その原点は機体の中心（例えば重心）に位置している。x軸は、機体の前方向に延びる軸であり、「ロール軸」とも称する。y軸は、機体の左方向に延びる軸であり、「ピッチ軸」とも称する。z軸は、機体の上方向に延びる軸であり、「ヨー軸」とも称する。

[0074] 図5に示すマルチコプタ100は、2個のメインロータ22と、8個のサブロータ12とを備えている。2個のメインロータ22は、x軸に沿って延びる2本のアーム110B1、110B2によってそれぞれ支持されている。2個のメインロータ22は、互いに反対の方向に回転するように制御される。8個のサブロータ12は、同軸の2個のサブロータ12を1組とする4組のサブロータ12によって構成されている。4組のサブロータ12は、x軸およびy軸と45度の角度をなす4本のアーム110A1、110A2、110A3、110A4によってそれぞれ支持されている。各組における2個のサブロータ12は、互いに反対の方向に回転するように制御される。機体の中心から各メインロータ22の回転軸までの距離は、機体の中心から各サブロータ12の回転軸までの距離よりも短い。各メインロータ22の直径は、各サブロータ12の直径よりも大きい。図5において、各メインロータ22は相対的に大きい円で表現され、同軸の2個のサブロータ12は相対的に小さい1つの円で表現されている。上側（z軸の正方向側）に位置する4個のサブロータ12の回転速度の大きさを ω_1 、 ω_2 、 ω_3 、 ω_4 とし、下側（z軸の負方向側）に位置する4個のサブロータ12の回転速度の大きさを ω_5

、 ω_6 、 ω_7 、 ω_8 とする。また、2個のメインロータ22の回転速度の大きさを ω_{m1} 、 ω_{m2} とする。ここで、「回転速度」は、単位時間あたりの回転数（例えば単位：rpm）、または角速度（例えば単位：rad/s）である。

[0075] 図5における右上のアーム110A1に支持される2個のサブロータ12のうち、z軸の正方向側（上側）のサブロータ12は時計回りに回転速度 ω_1 で回転し、z軸の負方向側（下側）のサブロータ12は反時計回りに回転速度 ω_5 で回転する。右下のアーム110A2に支持される2個のサブロータ12のうち、z軸の正方向側のサブロータ12は反時計回りに回転速度 ω_2 で回転し、z軸の負方向側のサブロータ12は時計回りに回転速度 ω_6 で回転する。左下のアーム110A3に支持される2個のサブロータ12のうち、z軸の正方向側のサブロータ12は時計回りに回転速度 ω_3 で回転し、z軸の負方向側のサブロータ12は反時計回りに回転速度 ω_7 で回転する。左上のアーム110A4に支持される2個のサブロータ12のうち、z軸の正方向側のサブロータ12は反時計回りに回転速度 ω_4 で回転し、z軸の負方向側のサブロータ12は時計回りに回転速度 ω_8 で回転する。機体の中心からx軸の正方向に伸びるアーム110B1に支持されるメインロータ22は、時計回りに回転速度 ω_{m1} で回転する。機体の中心からx軸の負方向側に伸びるアーム110B2に支持されるメインロータ22は、反時計回りに回転速度 ω_{m2} で回転する。

[0076] サブロータ12を支持する4本のアーム110A1、110A2、110A3、110A4のそれぞれの長さを l 、メインロータ22を支持する2本のアーム110B1、110B2のそれぞれの長さを l_m とする。また、複数のメインロータ22および複数のサブロータ12の回転によって生じる推力の合計を T 、x軸周りの回転のトルクを τ_ϕ 、y軸周りの回転のトルクを τ_θ 、z軸周りの回転のトルクを τ_ψ とする。

[0077] 合計推力 T およびトルク τ_ϕ 、 τ_θ 、 τ_ψ と、サブロータ12の回転速度 ω_1 、 ω_2 、 ω_3 、 ω_4 、 ω_5 、 ω_6 、 ω_7 、 ω_8 およびメインロータ22の回転速度 ω_{m1} 、 ω_{m2} との間の関係は、以下の数1で表される。

[数1]

$$\begin{pmatrix} T \\ \tau_\phi \\ \tau_\theta \\ \tau_\psi \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} k_m & k_m & k & k & k & k & k & k & k & k \\ 0 & 0 & \frac{\sqrt{2}l}{2} & \frac{\sqrt{2}l}{2} & \frac{\sqrt{2}l}{2} & \frac{\sqrt{2}l}{2} & \frac{\sqrt{2}l}{2} & \frac{\sqrt{2}l}{2} & \frac{\sqrt{2}l}{2} & \frac{\sqrt{2}l}{2} \\ -k_m l_m & k_m l_m & \frac{\sqrt{2}l}{2} & \frac{\sqrt{2}l}{2} & \frac{\sqrt{2}l}{2} & \frac{\sqrt{2}l}{2} & \frac{\sqrt{2}l}{2} & \frac{\sqrt{2}l}{2} & \frac{\sqrt{2}l}{2} & \frac{\sqrt{2}l}{2} \\ b_m & -b_m & b & -b & b & -b & -b & b & -b & b \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \omega_{m1}^2 \\ \omega_{m2}^2 \\ \omega_1^2 \\ \omega_2^2 \\ \omega_3^2 \\ \omega_4^2 \\ \omega_5^2 \\ \omega_6^2 \\ \omega_7^2 \\ \omega_8^2 \end{pmatrix}$$

ここで、 k 、 k_m 、 b 、 b_m は、所定の係数である。係数 k 、 k_m 、 b 、 b_m は、サブロータ12およびメインロータ22のサイズ、形状、および配置等によって決まる固定値であり、予め記憶装置に記憶されている。なお、数1に示す関係はあくまでも例示にすぎず、図5に示す構成とは異なる構成を採用する場合、数1とは異なる関係式が成立する。ここでは、数1が成立する場合における一例を説明する。

[0078] 数1の右辺においてメインロータ22に関する項とサブロータ12に関する項とを分離すると、以下の数2が得られる。

[数2]

$$\begin{pmatrix} T \\ \tau_\phi \\ \tau_\theta \\ \tau_\psi \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} k_m(\omega_{m1}^2 + \omega_{m2}^2) \\ 0 \\ k_m l_m(-\omega_{m1}^2 + \omega_{m2}^2) \\ b_m(\omega_{m1}^2 - \omega_{m2}^2) \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} k & k & k & k & k & k & k & k \\ \frac{\sqrt{2}l}{2} & \frac{\sqrt{2}l}{2} & \frac{\sqrt{2}l}{2} & \frac{\sqrt{2}l}{2} & \frac{\sqrt{2}l}{2} & \frac{\sqrt{2}l}{2} & \frac{\sqrt{2}l}{2} & \frac{\sqrt{2}l}{2} \\ \frac{\sqrt{2}l}{2} & \frac{\sqrt{2}l}{2} & \frac{\sqrt{2}l}{2} & \frac{\sqrt{2}l}{2} & \frac{\sqrt{2}l}{2} & \frac{\sqrt{2}l}{2} & \frac{\sqrt{2}l}{2} & \frac{\sqrt{2}l}{2} \\ b & -b & b & -b & -b & b & -b & b \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \omega_1^2 \\ \omega_2^2 \\ \omega_3^2 \\ \omega_4^2 \\ \omega_5^2 \\ \omega_6^2 \\ \omega_7^2 \\ \omega_8^2 \end{pmatrix}$$

[0079] 本実施形態における2個のメインロータ22は、互いに反対方向に同期して回転するように制御される。このため、 $\omega_{m1} = \omega_{m2} = \omega_m$ とおくことができる。これにより、トルク τ_θ および τ_ϕ のメインロータ22に起因する成分は打ち消し合い、メインロータ22による寄与としては推力の成分のみが残る。したがって、数2は、以下のように変形される。

[数3]

$$\begin{pmatrix} T - 2k_m \omega_m^2 \\ \tau_\phi \\ \tau_\theta \\ \tau_\psi \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} k & k & k & k & k & k & k & k \\ \frac{\sqrt{2}l}{2} & \frac{\sqrt{2}l}{2} & \frac{\sqrt{2}l}{2} & \frac{\sqrt{2}l}{2} & \frac{\sqrt{2}l}{2} & \frac{\sqrt{2}l}{2} & \frac{\sqrt{2}l}{2} & \frac{\sqrt{2}l}{2} \\ \frac{\sqrt{2}l}{2} & \frac{\sqrt{2}l}{2} & \frac{\sqrt{2}l}{2} & \frac{\sqrt{2}l}{2} & \frac{\sqrt{2}l}{2} & \frac{\sqrt{2}l}{2} & \frac{\sqrt{2}l}{2} & \frac{\sqrt{2}l}{2} \\ b & -b & b & -b & -b & b & -b & b \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \omega_1^2 \\ \omega_2^2 \\ \omega_3^2 \\ \omega_4^2 \\ \omega_5^2 \\ \omega_6^2 \\ \omega_7^2 \\ \omega_8^2 \end{pmatrix}$$

[0080] 数3の右辺における行列の逆行列を両辺に左から作用させると、以下の数4の関係が得られる。

[数4]

$$\begin{pmatrix} \omega_1^2 \\ \omega_2^2 \\ \omega_3^2 \\ \omega_4^2 \\ \omega_5^2 \\ \omega_6^2 \\ \omega_7^2 \\ \omega_8^2 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \frac{1}{8k} & -\frac{\sqrt{2}}{8/k} & -\frac{\sqrt{2}}{8/k} & \frac{1}{8b} \\ \frac{1}{8k} & -\frac{\sqrt{2}}{8/k} & \frac{\sqrt{2}}{8/k} & -\frac{1}{8b} \\ \frac{1}{8k} & \frac{\sqrt{2}}{8/k} & \frac{\sqrt{2}}{8/k} & \frac{1}{8b} \\ \frac{1}{8k} & \frac{\sqrt{2}}{8/k} & -\frac{\sqrt{2}}{8/k} & -\frac{1}{8b} \\ \frac{1}{8k} & -\frac{\sqrt{2}}{8/k} & -\frac{\sqrt{2}}{8/k} & \frac{1}{8b} \\ \frac{1}{8k} & -\frac{\sqrt{2}}{8/k} & \frac{\sqrt{2}}{8/k} & \frac{1}{8b} \\ \frac{1}{8k} & \frac{\sqrt{2}}{8/k} & \frac{\sqrt{2}}{8/k} & -\frac{1}{8b} \\ \frac{1}{8k} & \frac{\sqrt{2}}{8/k} & -\frac{\sqrt{2}}{8/k} & \frac{1}{8b} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} T - 2k_m \omega_m^2 \\ \tau_\phi \\ \tau_\theta \\ \tau_\psi \end{pmatrix}$$

[0081] したがって、 $T - 2k_m \omega_m^2$ 、 τ_ϕ 、 τ_θ 、 τ_ψ が決まれば、数4の演算により、サブロータ12の回転速度 ω_1 、 ω_2 、 ω_3 、 ω_4 、 ω_5 、 ω_6 、 ω_7 、 ω_8 を決定することができる。 $T - 2k_m \omega_m^2$ は、複数のサブロータ12の推力の合計に相当する。 $T - 2k_m \omega_m^2$ は、未知数 ω_m を含むが、メインロータ22の推力の合計とサブロータ12の推力の合計との比率を固定した場合、 $T - 2k_m \omega_m^2$ を決定することができる。 $T - 2k_m \omega_m^2$ は、 T に一定の係数を乗じることによって算出することができる。例えば、メインロータ22の推力の合計とサブロータ12の推力の合計との比率を、6:4に固定した場合、 T に係数0.4を乗じることにより、 $T - 2k_m \omega_m^2$ を決定することができる。また、メインロータ22の推力の合計と、サブロータ12の推力の合計との比率を、例えば3:7に固定した場合、 T に係数0.7を乗じることにより、 $T - 2k_m \omega_m^2$ を決定することができる。したがって、メインロータ22の推力の合計とサブロータ12の推力の合計との比率が固定されている場合、全てのロータの合計推力 T および各軸の周りのトルク τ_ϕ 、 τ_θ 、 τ_ψ が決まれば、数4の演算により、サブロータ12の回転速度 ω_1 、 ω_2 、 ω_3 、 ω_4 、 ω_5 、 ω_6 、 ω_7 、 ω_8 を決定することができる。また、全ロータによる合計推力 T またはサブロータ12による合計の推力 $T - 2k_m \omega_m^2$ に、所定の係数を乗じ

ることにより、メインロータ 22 による合計の推力 $2 k_m \omega_m^2$ を計算できる。 k_m は既知であるため、 $2 k_m \omega_m^2$ の値から、メインロータ 22 の回転速度 ω_m を計算することができる。

[0082] 以上のように、制御装置 30 は、所望の推力 T および各軸の周りのトルク τ_ϕ 、 τ_θ 、 τ_ψ と、数 4 の関係とに基づいて、サブロータ 12 の回転速度 ω_1 、 ω_2 、 ω_3 、 ω_4 、 ω_5 、 ω_6 、 ω_7 、 ω_8 およびメインロータ 22 の回転速度 ω_m を決定することができる。推力 T は、マルチコプタ 100 の飛行状態およびマルチコプタ 100 の総重量 T_0 に基づいて決定され得る。「マルチコプタ 100 の総重量 T_0 」は、マルチコプタ 100 の重量と、マルチコプタ 100 に連結された積載物（例えば作業機 200）の重量との合計の重量をいう。離陸時のマルチコプタ 100 の総重量 T_0 は、離陸重量とも呼ばれる。積載物は、作業機 200 とともに、あるいは、作業機 200 に代えて、マルチコプタ 100 に連結され得る、荷物、農業用資材、他の機械、または、それらを収容することができる容器、ケース、もしくはパッケージであってもよい。以下では、積載物として作業機 200 が連結された状態で、マルチコプタ 100 が飛行している例を説明する。

[0083] 以下、図 6 を参照しながら、制御装置 30 による各ロータの回転速度を決定する処理の例を説明する。

[0084] 図 6 は、各サブロータ 12 および各メインロータ 22 の回転速度を決定する処理の一例を示すフローチャートである。図 6 に示す処理は、例えば制御装置 30 におけるフライトコントローラ 32 によって実行され得る。制御装置 30 は、ステップ S100 から S114 の処理を実行することにより、各メインロータ 22 の回転速度 ω_m および 8 個のサブロータ 12 の回転速度 ω_1 、 ω_2 、 ω_3 、 ω_4 、 ω_5 、 ω_6 、 ω_7 、 ω_8 を決定することができる。

[0085] ステップ S100 において、制御装置 30 は、マルチコプタ 100 の総重量 T_0 についての情報を取得する。マルチコプタ 100 の総重量 T_0 の情報は、例えば予め記憶装置に記憶され得る。あるいは、マルチコプタ 100 の重量が予め記憶装置に記憶され、作業機 200 の重量はセンサによって計測さ

れてもよい。そのようなセンサを設けることにより、薬剤散布または収穫等の作業に伴って作業機200の重量が変動する場合であっても、マルチコプタ100の総重量 T_0 をより正確に推定することができる。また、制御装置30は、内燃機関（メインロータ駆動部24）の燃料の残量を、例えば燃料を収容する容器（燃料タンク）に設けられたセンサ（レベルセンサ）から検出することによって、燃料の重量またはその変化量を算出してもよい。制御装置30は、記憶装置および／またはセンサから取得したデータに基づいて、マルチコプタ100の総重量 T_0 を算出してもよい。

[0086] ステップS102において、制御装置30は、複数のサブロータ12および複数のメインロータ22が発生すべき推力の合計（合計推力） T を決定する。制御装置30は、マルチコプタ100の総重量 T_0 の情報および飛行状態に基づいて、合計推力 T を決定することができる。例えば、ホバリング時においては、制御装置30は、マルチコプタ100の総重量 T_0 と釣り合う推力を合計推力 T として決定することができる。水平飛行時においては、制御装置30は、機体の傾きを考慮して、推力の鉛直成分が重力と釣り合うという条件に基づき、合計推力 T を決定することができる。上昇時または下降時においては、制御装置30は、所望の加速度で機体が上昇または下降するように合計推力 T を決定する。

[0087] ステップS104において、制御装置30は、IMUおよび地磁気センサ等の1つ以上のセンサから取得したデータに基づいて、マルチコプタ100の現在の姿勢角を推定する。姿勢角は、地面に固定された座標系におけるマルチコプタ100の基準姿勢からの傾きを表す。

[0088] ステップS106において、制御装置30は、マルチコプタ100の現在の姿勢角と目標の姿勢角との差に基づいて、各軸の周りの必要なトルク τ_ϕ 、 τ_θ 、 τ_ψ を決定する。目標の姿勢角は、例えば操縦機を用いたユーザによる操作、または予め設定された飛行プログラムに従って決定され得る。制御装置30は、例えば、ロール角、ピッチ角、ヨー角のそれぞれについて、目標の角度との差が大きいほど、それぞれのトルクを大きい値に決定する。

- [0089] なお、ステップS104およびS106の処理は、ステップS100およびS102の処理の前に行われてもよいし、並行して行われてもよい。
- [0090] ステップS108において、制御装置30は、ステップS102で決定した合計推力Tに、0以上1以下の第1係数 K_1 を乗じることにより、複数のサブロータ12が発生すべき推力の合計である第1推力 T_1 を決定する。第1係数 K_1 は、例えば0.4などの所定の値に設定され得る。
- [0091] ステップS110において、制御装置30は、合計推力Tに、1から第1係数を減じた値である第2係数 K_2 ($= 1 - K_1$) を乗じるか、あるいは、第1推力 T_1 に、第2係数 K_2 を第1係数 K_1 で割った値である第3係数 K_3 ($= K_2 / K_1$) を乗じることにより、複数のメインロータ22が発生すべき推力の合計である第2推力 T_2 を決定する。合計推力Tに第2係数 K_2 を乗じる演算と、第1推力 T_1 に第3係数 K_3 を乗じる演算は、同一の結果をもたらす。
- [0092] ステップS108およびS110の処理の順序は、特に限定されず、いずれが先に行われてもよいし、これらの処理が同時に実行されてもよい。
- [0093] メインロータ22の合計推力である第2推力 T_2 と、サブロータ12の合計推力である第1推力 T_1 との比は、例えば6:4などの所定の比に設定され得る。 $T_2 : T_1 = 6 : 4$ である場合、第1係数は0.4、第2係数は0.6、第3係数は1.5に設定される。また、 $T_2 : T_1 = 5 : 5$ である場合、第1係数は0.5、第2係数は0.5、第3係数は1に設定される。 $T_2 : T_1 = 2 : 8$ である場合、第1係数は0.8、第2係数は0.2、第3係数は0.25に設定される。第3係数は、 T_2 / T_1 に相当し、これを「ブースト係数」と称することがある。第1推力 T_1 は、数4における $T - 2k_m\omega_m^2$ に相当し、第2推力 T_2 は、数4における $2k_m\omega_m^2$ に相当する。
- [0094] ステップS112において、制御装置30は、決定した第1推力 T_1 ($= T - 2k_m\omega_m^2$) と、各軸の周りの必要なトルク τ_ϕ 、 τ_θ 、 τ_ψ に基づいて、数4に示す演算を実行する。これにより、制御装置30は、サブロータ12の回転速度 ω_1 、 ω_2 、 ω_3 、 ω_4 、 ω_5 、 ω_6 、 ω_7 、 ω_8 を決定することができる。

- [0095] ステップS 1 1 4において、制御装置3 0は、ステップS 1 0 6で決定した第2推力 T_2 に基づいて、 $T_2 = 2 k_m \omega_m^2$ の関係から、各メインロータ2 2の回転速度 ω_m を決定する。
- [0096] ステップS 1 1 2およびS 1 1 4の処理の順序は、特に限定されず、いずれが先に行われてもよいし、これらの処理が同時に実行されてもよい。
- [0097] 以上の処理により、制御装置3 0は、所望の合計推力 T と、各軸の周りの必要なトルク τ_ϕ 、 τ_θ 、 τ_ψ に基づいて、各ロータの回転速度を決定することができる。なお、上記のステップS 1 1 0における処理の代わりに、制御装置3 0は、飛行に必要な合計推力 T から第1推力 T_1 を減算することによって第2推力 T_2 を演算してもよい。そのような演算によっても第2推力 T_2 を求めることができる。
- [0098] 制御装置3 0は、決定した各サブロータ1 2の回転速度および各メインロータ2 2の回転速度に基づいて、各モータ1 4および内燃機関（メインロータ駆動部2 4）を制御する。制御装置3 0は、各ESC 1 6に、決定したサブロータ1 2の回転速度を示すモータ制御信号（例えばPWM信号）を送出することにより、各ESC 1 6を介して各モータ1 4を制御する。また、制御装置3 0は、メインロータ制御ユニット2 6に決定したメインロータ2 2の回転速度を示す制御信号を送出することにより、メインロータ制御ユニット2 6を介して内燃機関を制御する。以上の動作は、飛行中に繰り返し実行される。
- [0099] このように、本実施形態における制御装置3 0は、複数のサブロータ1 2に発生させる合計の推力である第1推力 T_1 を演算し、第1推力 T_1 と飛行に必要な合計推力 T に基づいて、メインロータ2 2に発生させる合計の推力である第2推力 T_2 を演算する。制御装置3 0は、第1推力 T_1 に基づいて複数のサブロータ1 2の各々の回転速度 $\omega_1 \sim \omega_8$ を決定し、第2推力 T_2 に基づいて各メインロータ2 2の回転速度 ω_m を決定する。より具体的には、制御装置3 0は、複数のサブロータ1 2（第1ロータ）および複数のメインロータ2 2（第2ロータ）が発生すべき合計推力 T を決定し、合計推力 T とメイン

ロータ 2 2 の回転速度 ω_m との所定の関係、および／または、合計推力 T とサブロータ 1 2 の各々の回転速度 $\omega_1 \sim \omega_8$ との所定の関係に基づいて、各ロータの回転速度を決定することができる。これらの所定の関係は、例えば、第 1 係数 K_1 、第 2 係数 K_2 および第 3 係数 K_3 のいずれか少なくとも 1 つまたは全部によって表される。例えば、制御装置 3 0 は、合計推力 T に第 1 係数 K_1 を乗じることによって複数のサブロータ 1 2 が発生すべき推力の合計である第 1 推力 T_1 を決定する。制御装置 3 0 は、さらに、合計推力 T から第 1 推力 T_1 を減算する処理、合計推力 T に第 2 係数 K_2 ($= 1 - K_1$) を乗じる処理、または、第 1 推力 T_1 に第 3 係数 ($= (1 - K_1) / K_1$) を乗じる処理によって、複数のメインロータ 2 2 が発生すべき推力の合計である第 2 推力 T_2 を決定する。制御装置 3 0 は、第 1 推力 T_1 に基づいて複数のサブロータ 1 2 の各々の回転速度を決定し、第 2 推力 T_2 に基づいて複数のメインロータ 2 2 の各々の回転速度を決定する。

[0100] 以上の動作により、制御装置 3 0 は、飛行中に各サブロータ 1 2 および各メインロータ 2 2 の回転速度を逐次決定し、決定した回転速度で各サブロータ 1 2 および各メインロータ 2 2 を回転させることができる。これにより、マルチコプタ 1 0 0 を目標の姿勢に近づけ、所望の飛行を実行させることができる。

[0101] なお、図 3 A および図 5 の例では、マルチコプタ 1 0 0 は 2 つのメインロータ 2 2 および 8 個のサブロータ 1 2 を備えているが、メインロータ 2 2 およびサブロータ 1 2 の個数は、この例に限定されない。例えば、メインロータ 2 2 の個数は 1 個または 3 個以上であってもよい。また、サブロータ 1 2 の個数は、例えば 4 個または 6 個等の他の数であってもよい。サブロータ 1 2 に関しては、図 3 A および図 5 に示すオクト・クワッドコプタの構成に限らず、例えばクワッドコプタ、ヘキサコプタ、またはオクトコプタ等の多様な構成を採用できる。

[0102] 前述の動作において、第 1 係数 K_1 、および第 2 係数 K_2 または第 3 係数 K_3 は、可変であってもよい。言い換えれば、メインロータ 2 2 による合計の推

力 T_2 と、サブロータ12による合計の推力 T_1 との比であるブースト係数 T_2/T_1 （第3係数 K_3 に相当）は、可変であってもよい。ブースト係数は、メインロータ駆動部24から得られるメインロータ22の合計の推力（第2推力）と、複数のモータ14から得られるサブロータ12の合計の推力（第1推力）との比率に相当する。制御装置30は、第1係数 K_1 、および第2係数 K_2 または第3係数 K_3 を、マルチコプタ100の状態に応じて変更してもよい。例えば、制御装置30は、飛行モードに応じて、第1係数 K_1 、および第2係数 K_2 または第3係数 K_3 を変更してもよい。飛行モードは、例えばホバリング、水平飛行（前進、後進、または横移動（エルロン））、上昇、下降、回転（ラダー）などのモードを含む。制御装置30は、例えば上昇時およびホバリング時において、第1係数 K_1 を0.5よりも小さい値に維持するように構成され得る。第1係数 K_1 を0.5よりも小さい値に維持する場合、第2係数 K_2 は0.5よりも大きい値に維持され、第3係数 K_3 （ブースト係数）は1よりも大きい値に維持される。これにより、メインロータ22によって大きな推力を効率的に発生させることができる。制御装置30は、例えば着陸、水平飛行、またはラダー等の動作のために機体の姿勢（ヨー、ピッチ、および/またはロール）を所望の姿勢に調整するときには、ブースト係数を、ホバリング時における値よりも小さい値（例えば1よりも小さい値）に設定してもよい。これにより、メインロータ22の回転に伴って発生する大きい推力および回転モーメントが、サブロータ12による姿勢制御の働きを妨げることを抑制することができる。

[0103] 制御装置30は、操縦機または遠隔監視装置などの外部の装置を用いたユーザの操作に応答して、第1係数 K_1 、および第2係数 K_2 または第3係数 K_3 を変更するように構成されていてもよい。これにより、ユーザが例えば操縦しやすいように、推力発生効率と姿勢制御の応答性とのバランスを調整することができる。

[0104] <マルチコプタの総重量の変化に基づく制御>

マルチコプタ100の総重量 T_0 は、飛行中、変化し得る。例えば、作業機

200が農薬散布、施肥または種子の直播の作業を行う場合は、作業機200に收容された農薬、肥料または種子の重量が変化することによって、マルチコプタ100の総重量 T_0 が変化する。農薬、肥料および種子を総称して「農業資材」ということがある。作業機200が収穫または収穫物の運搬を行う場合は、作業機200に收容された収穫物の重量が変化することによって、マルチコプタ100の総重量 T_0 が変化する。さらに、内燃機関（メインロータ駆動部24）の燃料の重量が変化することによっても、マルチコプタ100の総重量 T_0 が変化する。以下で説明するように、制御装置30は、マルチコプタ100の総重量 T_0 についての情報を取得し、取得した情報に基づいて、各メインロータ22の回転速度 ω_m を制御することができる。制御装置30は、取得した情報に基づいて、サブロータ12の回転速度 ω_1 、 ω_2 、 ω_3 、 ω_4 、 ω_5 、 ω_6 、 ω_7 、 ω_8 も制御することができる。制御装置30は、マルチコプタ100の総重量 T_0 の変化に応じて、各ロータの回転速度を変更することができる。説明する例では、マルチコプタ100の総重量 T_0 は、マルチコプタ100の重量と、マルチコプタ100の機体121に連結された積載物（ここでは作業機200）の重量との合計の重量である。マルチコプタ100の重量は、マルチコプタ100の機体重量と、内燃機関の燃料の重量とを含み得る。積載物および燃料を含まないマルチコプタ100の重量を「機体重量」ということがある。

[0105] 図7を参照して、制御装置30が行う処理の一例を説明する。制御装置30は、マルチコプタ100が飛行している間、図7に示す処理を実行することにより、マルチコプタ100の総重量 T_0 の変化に応じて、各ロータの回転速度を変更することができる。マルチコプタ100の姿勢角の制御については、簡単のため、図7では記載を省略するが、図6を参照して説明した方法と同様の方法で行われ得る。

[0106] まずステップS200において、制御装置30は、マルチコプタ100の総重量 T_0 の変化に基づく制御を開始するか否かを判定する。制御装置30は、例えば、ユーザが使用する操縦機または遠隔監視装置などの外部の装置か

らの指令、または、予め設定された飛行計画に基づいて、重量の変化に基づく制御を開始するか否かを判定する。判定は、マルチコプタ100の飛行中に行われてもよい。マルチコプタ100の総重量 T_0 の変化に基づく制御が開始される前は、例えば図6を参照して説明した方法で、メインロータ22の回転速度およびサブロータ12の回転速度ならびにマルチコプタ100の姿勢角が制御され得る。マルチコプタ100の総重量 T_0 の変化に基づく制御を開始すると判定された場合（「Yes」の場合）、ステップS202に進む。

[0107] ステップS202において、制御装置30は、マルチコプタ10が飛行している間、マルチコプタ100の総重量 T_0 の変化を検知する。制御装置30は、例えば、マルチコプタ100が飛行している間、センサによって作業機200の重量を計測することによって、作業機200の重量の変化を検知することができる。制御装置30は、燃料タンクに設けられたセンサによって燃料の重量またはその変化量を算出してもよい。センサを用いる場合に限りならず、センサに代えてまたはセンサを用いるとともに、制御装置30は、マルチコプタ100の飛行時間、飛行距離、作業内容、作業時間などから、燃料の変化量（減少量）、作業機200に収容された農業資材または収穫物の変化量を推定することによって、マルチコプタ100の総重量 T_0 の変化を検知することもできる。

[0108] マルチコプタ100の総重量 T_0 の変化が検知された場合（「Yes」の場合）、ステップS204において、制御装置30は、マルチコプタ100の総重量 T_0 の変化量が所定値よりも大きいかなんかを判定する。マルチコプタ100の総重量 T_0 の変化量が所定値よりも大きい場合（「Yes」の場合）、制御装置30は、ステップS206において、マルチコプタ100の総重量 T_0 の変化量に応じて、メインロータ22の回転速度およびサブロータ12の回転速度を変更する。このとき、制御装置30は、第2推力 T_2 と第1推力 T_1 との比を予め定められた範囲内に維持して（例えば $T_2 : T_1 = 6 : 4$ を維持して）、メインロータ22およびサブロータ12の回転速度を変更してもよ

い。第2推力 T_2 と第1推力 T_1 との比が予め定められていた場合（例えば $T_2 : T_1 = 6 : 4$ ）、制御装置30は、第2推力 T_2 と第1推力 T_1 との比が予め定められた比に厳密に一致する場合に限られず、所定の誤差（例えば $\pm 5\%$ ）を許容して、第2推力 T_2 と第1推力 T_1 との比が所定の範囲内になるように、メインロータ22およびサブロータ12の回転速度を決定してもよい。制御装置30は、マルチコプタ100の総重量 T_0 に基づいて決定された合計推力 T と、メインロータ22の回転速度との関係を示すテーブル等のデータに基づいて、メインロータ22の回転速度を決定してもよい。

[0109] マルチコプタ100の総重量 T_0 の変化が検知され、マルチコプタ100の総重量 T_0 の変化量が所定値以下である場合（ステップS204の「N」の場合）、制御装置30は、ステップS208において、マルチコプタ100の総重量 T_0 の変化量に応じて、サブロータ12の回転速度を変更し、メインロータ22の回転速度を変更せずに維持する。制御装置30は、マルチコプタ100の総重量 T_0 に基づいて決定された合計推力 T と、メインロータ22の回転速度とに基づいて、サブロータ12の回転速度を決定することができる。メインロータ22の回転速度が維持されるので、エンジンの目標回転数を変更する必要がない。内燃機関（メインロータ駆動部24）の目標回転数を変更する頻度を抑えつつ、マルチコプタ100の総重量 T_0 の変化に応じてロータの回転速度を制御し、マルチコプタ100の飛行を制御することができる。

[0110] 制御装置30は、終了の指令が出されるまで（ステップS210）、マルチコプタ100が飛行している間、ステップS202、S204、S206およびS208の処理を繰り返す。

[0111] 制御装置30は、マルチコプタ100の総重量 T_0 の変化に対応して飛行を制御することができる。例えば、マルチコプタ100に連結された作業機200によって作業が行われる場合、作業機200の重量の変化に対応することができる。なお、「マルチコプタ100の総重量 T_0 の変化が検知された場合」は、マルチコプタ100の総重量 T_0 が実際に変化した場合だけでなく、

メインロータ 22 または サブロータ 12 の回転速度を決定するために用いたマルチコプタ 100 の総重量 T_0 の情報（例えば、図 6 のステップ S 100 で取得したマルチコプタ 100 の総重量 T_0 の情報）と、センサ等によって算出されたマルチコプタ 100 の総重量 T_0 との間に差異がある場合も含む。例えば、予め記憶装置に記憶されていた作業機 200 の重量の情報に誤りがあったような場合にも、図 7 を参照して説明した処理を行うことによって、修正されたマルチコプタ 100 の総重量 T_0 に基づいて制御を行うことができる。

[0112] あるいは、制御を簡単にするために、図 6 のステップ S 100 において、マルチコプタ 100 の総重量 T_0 の情報として、マルチコプタ 100 の機体重量と積載物（ここでは作業機 200）の重量の合計の重量の情報を取得してもよい。マルチコプタ 100 の機体重量は飛行中変化しない。マルチコプタ 100 の機体重量は、ユーザに既知であるので予め記憶装置に記憶され得る。説明している例では、マルチコプタ 100 の総重量 T_0 は、マルチコプタ 100 の機体重量と、燃料の重量と、積載物（ここでは作業機 200）の重量との合計である。したがって、マルチコプタ 100 の機体重量と作業機 200 の重量との合計の重量は、マルチコプタ 100 の総重量 T_0 に一致しない場合があるが、図 7 を参照して説明した処理を行うことによって、センサ等によって算出されたマルチコプタ 100 の総重量 T_0 に基づいた処理を行うことができる。したがって、制御を簡単にするために、初期設定として、ユーザに既知であるマルチコプタ 100 の機体重量と作業機 200 の重量の情報のみを用いて、メインロータ 22 または サブロータ 12 の回転速度の初期設定を行うことができる。

[0113] 図 7 のフローチャートでは、制御装置 30 は、マルチコプタ 100 の総重量 T_0 の変化が検知されたとき、ステップ S 206 およびステップ S 208 の処理のいずれを行うかを、マルチコプタ 100 の総重量 T_0 の変化量の大きさに応じて決定する。ただし、本開示の実施形態は図 7 の例に限られない。図 8 A および図 9 A を参照しながら、制御装置 30 が行う処理の他の例を説明する。図 8 A の例では、制御装置 30 は、作業機 200 の重量の変化が検知

された場合は、ステップS 2 0 6の処理を行い、作業機2 0 0の重量の変化が検知されず、燃料の重量の変化のみが検知された場合は、ステップS 2 0 8の処理を行う。図9 Aの例では、制御装置3 0は、マルチコプタ1 0 0の総重量 T_0 の変化が検知されたとき、常にステップS 2 0 6の処理を行ってもよい。

- [0114] 図8 Aのフローチャートにおいて、ステップS 2 2 0およびS 2 2 2は、図7のステップS 2 0 0およびS 2 0 2と同様に行われ得る。
- [0115] ステップS 2 2 2においてマルチコプタ1 0 0の総重量 T_0 の変化が検知された場合（「Y e s」の場合）、ステップS 2 2 4において、制御装置3 0は、作業機2 0 0の重量の変化が検知されたか否かを判定する。作業機2 0 0の重量の変化が検知された場合（「Y e s」の場合）、制御装置3 0は、ステップS 2 2 6において、マルチコプタ1 0 0の総重量 T_0 の変化量に応じて、メインロータ2 2の回転速度およびサブロータ1 2の回転速度を変更する。ステップS 2 2 6は、図7のステップS 2 0 6と同様に行われ得る。作業機2 0 0の重量の変化が検知されない場合（「N o」の場合）、制御装置3 0は、ステップS 2 0 8において、マルチコプタ1 0 0の総重量 T_0 の変化量に応じて、サブロータ1 2の回転速度を変更し、メインロータ2 2の回転速度を変更せずに維持する。ステップS 2 2 8は、図7のステップS 2 0 8と同様に行われ得る。
- [0116] 制御装置3 0は、終了の指令が出されるまで（ステップS 2 3 0）、マルチコプタ1 0 0が飛行している間、ステップS 2 2 2、S 2 2 4、S 2 2 6およびS 2 2 8の処理を繰り返す。
- [0117] 図9 Aのフローチャートにおいて、ステップS 2 4 0およびS 2 4 2は、図7のステップS 2 0 0およびS 2 0 2と同様に行われ得る。
- [0118] ステップS 2 4 2においてマルチコプタ1 0 0の総重量 T_0 の変化が検知された場合（「Y e s」の場合）、ステップS 2 4 4において、制御装置3 0は、第2推力 T_2 と第1推力 T_1 との比の情報を取得する。ステップS 2 4 6において、制御装置3 0は、マルチコプタ1 0 0の総重量 T_0 の変化量に応じ

て、第2推力 T_2 と第1推力 T_1 との比を維持したまま、メインロータ22の回転速度およびサブロータ12の回転速度を変更する。

[0119] 制御装置30は、終了の指令が出されるまで（ステップS248）、マルチコプタ100が飛行している間、ステップS242、S244およびS246の処理を繰り返す。

[0120] 図8Bを参照しながら、図8Aの処理の具体例を説明する。図8Bは、マルチコプタ100の総重量 T_0 が変化したときの、メインロータ22およびサブロータ12の回転速度の制御方法を説明するための模式的な図である。図8Bの上段は、マルチコプタ100の総重量 T_0 が互いに異なる（a）～（d）の場合におけるメインロータ22の合計推力である第2推力 T_2 の変化を表すグラフであり、図8Bの下段は、上段のグラフに対応する表である。

[0121] 図8Bの（a）は、マルチコプタ100に積載物（重量60kgf）が連結されており、マルチコプタ100に搭載された燃料の重量が最大である場合に対応している。図8Bの（b）は、マルチコプタ100に積載物（重量60kgf）が連結されており、マルチコプタ100に搭載された燃料の重量が最小である場合に対応している。図8Bの（c）は、マルチコプタ100に積載物が連結されておらず、マルチコプタ100に搭載された燃料の重量が最大である場合に対応している。図8Bの（d）は、マルチコプタ100に積載物が連結されておらず、マルチコプタ100に搭載された燃料の重量が最小である場合に対応している。なお、図8Bの（a）～（d）は必ずしも時系列に沿っているわけではなく、それぞれがマルチコプタ100の飛行中の状態の例を模式的に示している。

[0122] 例えば、マルチコプタ100の飛行中、マルチコプタ100の総重量 T_0 が図8Bの（a）から（b）に変化した場合または図8Bの（c）から（d）に変化した場合、すなわち、積載物の重量は変化せず、マルチコプタ100に搭載された燃料の重量が変化（減少）した場合、制御装置30は、メインロータ22の回転速度を維持し、サブロータ12の回転速度を変更する。メインロータ22の回転速度が維持されるので第2推力 T_2 は維持される一方、

マルチコプタ100の総重量 T_0 の変化量に応じて合計推力 T が変化するので、第2推力 T_2 と第1推力 T_1 との比が変更されることになる。

[0123] 一方で、例えば、マルチコプタ100の飛行中、マルチコプタ100の総重量 T_0 が図8Bの(c)から(a)に変化した場合または図8Bの(d)から(b)に変化した場合、すなわち、積載物の重量に変化が生じた場合、制御装置30は、第2推力 T_2 と第1推力 T_1 との比を変更せずに維持したまま、メインロータ22の回転速度およびサブロータ12の回転速度を変更する。マルチコプタ100の総重量 T_0 の変化量に応じて合計推力 T が変化するので、第2推力 T_2 および第1推力 T_1 の両方が変更される。これに応じて、メインロータ22の回転速度およびサブロータ12の回転速度が変更される。

[0124] 図9Bを参照しながら、図9Aの処理の具体例を説明する。図9Bは、マルチコプタ100の総重量 T_0 が変化したときの、メインロータ22およびサブロータ12の回転速度の制御方法を説明するための模式的な図である。図9Bの上段は、マルチコプタ100の総重量 T_0 が互いに異なる(a)~(d)の場合におけるメインロータ22の合計推力である第2推力 T_2 の変化を表すグラフであり、図9Bの下段は、上段のグラフに対応する表である。

[0125] 図9Bの(a)~(d)においては、積載物の重量および燃料の重量の両方が変化している。図9Bの(a)~(d)の間でマルチコプタ100の総重量 T_0 が変化したとき、制御装置30は、第2推力 T_2 と第1推力 T_1 との比を変更せずに維持したまま、メインロータ22の回転速度およびサブロータ12の回転速度を変更する。この例では、第2推力 T_2 と第1推力 T_1 との比が $T_2 : T_1 = 6 : 4$ に維持されている。マルチコプタ100に連結された作業機200が農薬散布、施肥または種子の直播の作業を行う場合や、作業機200が収穫または収穫物の運搬を行う場合、飛行中に作業機200の重量が変化し得る。図9Aの制御方法によると、作業機200(積載物)の重量の変化に応じて、各ロータの回転速度を制御することができる。第2推力 T_2 と第1推力 T_1 との比を、マルチコプタ100の構成や飛行状態に応じて決められた好ましい範囲内に維持することができる。

[0126] <エンジン制御>

次に、内燃機関（エンジン）を制御する方法の例を説明する。

[0127] 上記のように、本実施形態におけるマルチコプタ100は、複数のサブロータ12および少なくとも1つのメインロータ22を含む複数のロータを備えている。複数のサブロータ12は、複数のモータ14によってそれぞれ駆動される。少なくとも1つのメインロータ22は、メインロータ駆動部24すなわち内燃機関によって駆動される。制御装置30は、複数のモータ14を制御することによって複数のサブロータ12の回転を制御して機体の姿勢制御を実行する。制御装置30は、メインロータ制御ユニット26を介して内燃機関を制御することによって少なくとも1つのメインロータ22の回転を制御して主推力を発生させる。

[0128] 図10は、モータ14および内燃機関の制御方法の一例を示すフローチャートである。図10に示す制御方法は、制御装置30およびメインロータ制御ユニット26によって実行される。

[0129] ステップS300において、制御装置30は、各サブロータ12の回転速度と、各メインロータ22の回転速度とを決定する。各ロータの回転速度は、例えば図6を参照して説明した方法で決定される。以下、各サブロータ12の回転速度を「第1回転速度」と称し、各メインロータ22の回転速度を「第2回転速度」と称することがある。第1回転速度は、サブロータ12ごとに個別に決定される。第2回転速度は、メインロータ22ごとに個別に決定されてもよいし、一括で共通の値に決定されてもよい。

[0130] ステップS302において、制御装置30は、各サブロータ12の回転速度に応じたデューティ比を有する第1PWM信号を、第1制御信号として、サブロータ12ごとに生成する。第1PWM信号は、前述のモータ制御信号に相当する。PWM信号のデューティ比は、モータの回転速度を示す。なお、第1制御信号は、PWM信号に限らず、他の種類の信号でもよい。

[0131] ステップS304において、制御装置30は、各メインロータ22の回転速度に応じたデューティ比を有する第2PWM信号を生成する。本実施形態

では、各メインロータ 22 は内燃機関によって駆動されるが、各メインロータ 22 は電動モータによって駆動されてもよい。例えば、図 1 A に示す第 1 の回転駆動装置 3 A または第 3 の回転駆動装置 3 C の構成を採用して、一部のロータをメインロータとして駆動し、残りのロータをサブロータとして駆動してもよい。制御装置 30 は、各メインロータ 22 が電動モータによって駆動される場合に当該電動モータを駆動する ESC に入力する PWM 信号を第 2 PWM 信号として生成することができる。

[0132] ステップ S 306 において、メインロータ制御ユニット 26 は、制御装置 30 によって生成された第 2 PWM 信号を、内燃機関の回転速度を決定する第 2 制御信号に変換する。本実施形態のように、各メインロータ 22 が内燃機関によって駆動される場合、電動モータを駆動するための第 2 PWM 信号は、そのままでは内燃機関の制御に利用できない。そこで、メインロータ制御ユニット 26 は、第 2 PWM 信号を、内燃機関を制御するための第 2 制御信号に変換する。第 2 制御信号は、例えば、内燃機関のスロットルバルブの開度を決定する信号であり得る。メインロータ制御ユニット 26 は、例えば、第 2 PWM 信号のデューティ比とスロットルバルブの開度との関係、または第 2 PWM 信号のデューティ比と内燃機関の回転速度との関係を示すテーブル等のデータに基づいて、第 2 PWM 信号を第 2 制御信号に変換することができる。第 2 PWM 信号のデューティ比は、各メインロータ 22 の回転速度（第 2 回転速度）と相関する。したがって、第 2 PWM 信号のデューティ比と内燃機関の回転速度との関係を示すテーブルは、第 2 回転速度を内燃機関の回転速度に変換するテーブルに相当する。当該テーブルなどのデータは、制御装置 30 の内部または外部の記憶装置に予め記憶され得る。制御装置 30 は、当該データを記憶装置から読み出し、当該データを参照することで、第 2 PWM 信号を第 2 制御信号に変換することができる。上記テーブル等のデータは、クラウド上のサーバコンピュータに保存されていてもよい。その場合、制御装置 30 は、通信装置 74 を介して当該データを取得することができる。

[0133] ステップS308において、制御装置30は、サブロータ12ごとに生成した第1制御信号を、それぞれのESC16に入力することにより、各モータ14を制御する。また、メインロータ制御ユニット26は、第2制御信号を用いてメインロータ駆動部24（内燃機関）を制御する。

[0134] 以上の動作により、各モータ14および内燃機関を制御して、各サブロータ12および各メインロータ22を、所望の回転速度で回転させることができる。なお、本実施形態では制御装置30とメインロータ制御ユニット26とによって図10に示す制御が実行されるが、制御装置30およびメインロータ制御ユニット26の機能を備える1つの制御装置または制御システムが図10に示す制御を実行するように構成されていてもよい。すなわち、制御装置または制御システムは、複数のサブロータ12の各々の回転速度（第1回転速度）、および少なくとも1つのメインロータ22の回転速度（第2回転速度）を決定し、第1回転速度に基づいて複数の電動モータ14の各々を回転させる第1制御信号を生成し、第2回転速度に基づいて内燃機関を駆動する第2制御信号を生成するように構成され得る。そのような制御装置または制御システムは、例えば、各サブロータ12の第1回転速度に応じたデューティ比を有する信号（例えば、前述の第1PWM信号）を第1制御信号として生成し、少なくとも1つの第2ロータの第2回転速度に応じたデューティ比を有する信号（例えば、前述の第2PWM信号）を生成し、第2PWM信号を、前述のテーブル等のデータに基づいて、内燃機関の回転速度を規定する第2制御信号に変換してもよい。

[0135] 以下、図11から図15を参照しながら、上記の制御を実現するための構成例をより詳細に説明する。

[0136] 図11は、制御装置30におけるフライトコントローラ32の構成例を示すブロック図である。この例におけるフライトコントローラ32は、姿勢制御のために各サブロータ12の回転速度を決定するモジュール322と、各サブロータ12の回転速度に応じたデューティ比を有する第1PWM信号（第1制御信号）を生成するモジュール324と、各メインロータ22の回転

速度に応じたデューティ比を有する第2 PWM信号を生成するモジュール326とを含む。第1 PWM信号は、複数のESC16の各々に入力される。図11に示す例では、8個のサブロータ12にそれぞれ対応する8個のESC16に、PWM信号#1~#8がそれぞれ入力される。図11の例では、PWM信号#1~#8は、メインロータ22用のPWM信号を生成するモジュール326にも入力される。モジュール326は、それらのPWM信号#1~#8に基づいて、メインロータ22のためのPWM信号（第2 PWM信号）を生成し、第2 PWM信号をメインロータ制御ユニット26に出力する。メインロータ制御ユニット26は、第2 PWM信号をエンジン制御信号である第2制御信号に変換し、第2制御信号に基づいて内燃機関を制御する。

[0137] 図12は、メインロータ22用のPWM信号を生成するモジュール326の構成例を示す図である。モジュール326は、複数の加算器326aと、フィルタ演算器326bと、乗算器326cとを含む。加算器326aは、サブロータ12の個数と同数だけ設けられる。加算器326aは、モジュール324から入力されたPWM信号#1~#8のデューティ値を加算してデューティ合算値を出力する。デューティ合算値は、複数のサブロータ12の合計の推力に相関（例えば比例）する。デューティ合算値の信号は、フィルタ演算器326bに入力される。フィルタ演算器326bは、デューティ合算値の信号の高周波成分を除去し、信号の時間変化を滑らかにして出力する。フィルタ演算器326bから出力された信号は、乗算器326cに送られる。乗算器326cは、当該信号にブースト係数を乗算することによってメインロータ22用のPWM信号を生成して出力する。なお、図12に示す機能は、ハードウェアによって実現されてもよいし、ソフトウェアによって実現されてもよい。

[0138] 図13は、サブロータ12用のPWM信号のデューティ合算値およびメインロータ22用のPWM信号のデューティ値の時間変化の一例を示すグラフである。例えば図9Aの処理が行われた場合、図13に示されるように、ブースト係数は常に一定の値に維持されており、サブロータ12用のPWM信

号のデューティ合算値と、メインロータ 2 2 用の PWM 信号のデューティ値との比が一定である。すなわち、メインロータ 2 2 の合計推力である第 2 推力 T_2 と、サブロータ 1 2 の合計推力である第 1 推力 T_1 との比を、一定に保つことができる。前述のように、ブースト係数は、飛行中、マルチコプタ 1 0 0 の状態または外部の装置からの指令等に応じて変動してもよい。例えば図 8 A の処理が行われた場合、ブースト係数が時間に対して変化し得、すなわち、メインロータ 2 2 の合計推力である第 2 推力 T_2 と、サブロータ 1 2 の合計推力である第 1 推力 T_1 との比が時間に対して変化し得る。

[0139] 図 1 4 は、メインロータ制御ユニット 2 6 の構成例を示す図である。図 1 4 に示すメインロータ制御ユニット 2 6 は、内燃機関（エンジン）の目標回転数を決定するモジュール 2 6 a と、減算器 2 6 b と、PID 制御のための演算を実行するモジュール 2 6 c と、CAN 通信のための信号を生成するモジュール 2 6 d と、内燃機関に設けられたセンサから出力されたエンジン回転パルス信号のパルス間隔を計測するモジュール 2 6 f と、パルス間隔に基づいてエンジンの実際の回転数を演算するモジュール 2 6 e とを含む。メインロータ制御ユニット 2 6 は、さらに、メインロータ 2 2 用の PWM 信号のデューティ比とエンジンの目標回転数との関係を示すデータである目標回転数テーブルを記憶する記憶装置 2 6 g を含む。ここでエンジンの回転数は、単位時間（例えば 1 分）あたりのエンジンの回転数（例えば単位：rpm）を意味する。なお、図 1 4 に示す機能は、ハードウェアによって実現されてもよいし、ソフトウェアによって実現されてもよい。

[0140] メインロータ制御ユニット 2 6 は、例えば、フライトコントローラ 3 2 から出力されたメインロータ 2 2 用の PWM 信号と、目標回転数テーブルとに基づいて、エンジンの目標回転数を決定する。記憶装置 2 6 g には、マルチコプタ 1 0 0 の総重量 T_0 とエンジンの目標回転数との関係を示すデータである目標回転数テーブルが記憶されていてもよい。そのような場合には、メインロータ制御ユニット 2 6 は、制御装置 3 0 が取得したマルチコプタ 1 0 0 の総重量 T_0 の情報と、目標回転数テーブルとに基づいて、エンジンの目標回

転数を決定する。

- [0141] 図15は、メインロータ制御ユニット26の他の構成例を示す図である。図15に示すメインロータ制御ユニット26は、例えば図9Aの処理が行われる場合に用いられる。図15に示すメインロータ制御ユニット26は、制御装置30が取得したマルチコプタ100の総重量 T_0 の情報と、目標回転数テーブルとに基づいて決定された、エンジンの目標回転数を、複数のサブロータ12の合計の推力（デューティ合算値）に基づいて補正する。サブロータ12用のPWM信号のデューティ合算値は、複数のサブロータ12の合計の推力に比例する。図15に示すメインロータ制御ユニット26は、サブロータ12用のPWM信号のデューティ合算値をモニターするためのユニット26oをさらに有する。ユニット26oは、メインロータ制御ユニット26に入力された、サブロータ12用のPWM信号のデューティ合算値の上限張り付きおよび下限張り付きをそれぞれ検知する上限張り付き検知器26lおよび下限張り付き検知器26mと、上限張り付き検知器26lおよび下限張り付き検知器26mによる検知に基づいて演算を行う加減算器26kおよびフィルタ演算器26jと、フィルタ演算器26jから出力された信号に所定の係数を乗算して出力する乗算器26iと、加算器26hとをさらに有する。なお、図15に示す機能は、ハードウェアによって実現されてもよいし、ソフトウェアによって実現されてもよい。

- [0142] 図16は、PWM信号のデューティ比と、エンジン回転数との対応関係の一例を示すグラフである。目標回転数テーブルは、図16に示すような関係に基づいて予め作成され、記憶装置26gに記憶され得る。この例では、各メインロータ22の回転速度は、PWM信号のデューティ比と比例する。目標回転数テーブルは、各メインロータ22の回転速度を内燃機関の回転速度に変換するテーブルの一例である。メインロータ制御ユニット26は、このようなテーブルに基づいて、PWM信号を、内燃機関を駆動するエンジン制御信号（第2制御信号）に変換することができる。

- [0143] メインロータ制御ユニット26は、エンジンの目標回転数を決定する一方

で、センサから出力されたエンジン回転パルス信号のパルス間隔を計測し、そのパルス間隔に基づいて実際のエンジン回転数を演算する。メインロータ制御ユニット26は、エンジンの目標回転数と実際の回転数との減算を行い、それらの差が0に近づくようにエンジン制御信号を調整するPID制御を実行する。メインロータ制御ユニット26は、エンジンの目標回転数と実際の回転数との差が0に近づくように決定したエンジン制御信号によってメインロータ駆動部24（内燃機関）を制御する。これにより、メインロータ22を所望の回転速度で回転させることができる。

[0144] なお、上記の例では、PWM信号のデューティ比とエンジンの目標回転数との関係を示すテーブルが用いられるが、代わりに、PWM信号のデューティ比と内燃機関のスロットルバルブの開度との関係を示すテーブルなどのデータを用いてもよい。そのようなデータに基づいて、メインロータ制御ユニット26は、メインロータ22用のPWM信号（第2PWM信号）を、スロットルバルブの開度を示すエンジン制御信号に変換することができる。そのようなエンジン制御信号を、内燃機関を駆動する第2制御信号として用いることができる。

[0145] 以上のように、本実施形態における制御装置30におけるフライトコントローラ32は、各メインロータ22の回転速度を制御するとき、回転速度に応じたデューティ比を有するPWM信号を生成する。メインロータ制御ユニット26は、図16に示すような関係を規定するテーブルに基づいて、当該PWM信号をエンジン制御信号に変換し、当該エンジン制御信号を用いて内燃機関を制御する。このような構成により、メインロータ22が電動モータによって駆動されるバッテリー駆動型またはシリーズハイブリッド駆動型において使用されるフライトコントローラを、本実施形態におけるパラレルハイブリッド駆動型の構成にも流用することが可能になる。したがって、フライトコントローラを変更することなく、パラレルハイブリッド駆動型におけるメインロータ22を駆動する内燃機関を制御することが可能になる。

[0146] 本開示の実施形態における制御装置30は、図6から図10を参照しながら

ら説明した各処理を実行するようにプログラムされたデジタルコンピュータシステムによって実現され得る。

[0147] 図17は、制御装置30のハードウェア構成例を示すブロック図である。制御装置30は、プロセッサ34、ROM (Read Only Memory) 35、RAM (Random Access Memory) 36、記憶装置37、および通信I/F38を備える。これらの構成要素は、バス39を介して相互に接続される。

[0148] プロセッサ34は、1または複数の半導体集積回路であり、中央演算処理装置 (CPU) またはマイクロプロセッサとも称される。プロセッサ34は、ROM35に格納された、コンピュータプログラムを逐次実行し、前述した処理を実現する。プロセッサ34は、CPUを搭載したFPGA (Field Programmable Gate Array)、GPU (Graphic Processor Unit)、ASIC (Application Specific Integrated Circuit)、またはASSP (Application Specific Standard Product) を含む用語として広く解釈される。

[0149] ROM35は、例えば、書き込み可能なメモリ (例えばPROM)、書き換え可能なメモリ (例えばフラッシュメモリ)、または読み出し専用のメモリである。ROM35は、プロセッサの動作を制御するプログラムを記憶している。ROM35は、単一の記録媒体である必要はなく、複数の記録媒体の集合であり得る。複数の集合体の一部は取り外し可能なメモリであってもよい。

[0150] RAM36は、ROM35に格納されたプログラムをブート時に一旦展開するための作業領域を提供する。RAM36は、単一の記録媒体である必要はなく、複数の記録媒体の集合であり得る。

[0151] 通信I/F38は、制御装置30と他の電子部品または電子制御ユニット (ECU) との間で通信を行うためのインタフェースである。例えば、通信I/F38は、種々のプロトコルに準拠した有線通信を行うことができる。

通信 I / F 3 8 は、Bluetooth（登録商標）規格および／または Wi-Fi（登録商標）規格に準拠した無線通信を行ってもよい。いずれの規格も、2.4GHz帯の周波数を利用した無線通信規格を含む。

[0152] 記憶装置 3 7 は、例えば、半導体メモリ、磁気記憶装置、または光学記憶装置、またはそれらの組合せであり得る。記憶装置 3 7 は、例えば、マルチコプタ 1 0 の自律的な飛行に有用な地図データ、および、マルチコプタ 1 0 が飛行中に取得した種々のセンサデータを記憶することができる。

[0153] なお、制御装置 3 0 は、前述したように、例えば、フライトコントローラ 3 2 などの飛行制御装置と、上位のコンピュータ（コンパニオンコンピュータ）とを、別の部品として含み得る。また、制御装置 3 0 とメインロータ制御ユニット 2 6 とを含むシステムを「制御装置」として利用してもよい。

[0154] また、制御装置 3 0 の一部または全部の機能は、図 1 8 に示されるように、通信ネットワーク N によってマルチコプタ 1 0 0 の通信装置 7 4 に接続される 1 または複数のサーバー（コンピュータ）5 0 0 または端末装置（携帯型および固定型を含む）4 0 0 によって実現されてもよい。このような通信ネットワーク N には、トラクタなどの農業機械 7 0 0 が接続され、マルチコプタ 1 0 0 と農業機械 7 0 0 との間で通信が行われてもよい。通信ネットワーク N を介して、制御装置 3 0 の処理に用いられるデータの一部、およびマルチコプタ 1 0 0 に対する制御信号が農業機械 7 0 0 からマルチコプタ 1 0 0 に与えられてもよい。

[0155] 上記の実施形態に係る無人航空機では、「姿勢制御装置」が複数の電気モータを備え、「主推力発生装置」が内燃機関を備えている。言い換えると、上記の実施形態に係る無人航空機は、図 1 A の回転駆動装置 3 D を備えている。しかし、図 1 A に示される回転駆動装置 3 A、3 B、3 C においても、一部のモータ 1 4 または動力伝達系 2 3 を他のモータ 1 4 または動力伝達系 2 3 とは異ならせることにより、「姿勢制御装置」と「主推力発生装置」を備える無人航空機を実現することができる。

[0156] また、無人航空機は、出力および応答速度が異なる複数の内燃機関を備え

ていてもよい。その場合、出力が相対的に低くて応答速度が相対的に高い内燃機関は「姿勢制御装置」を構成し、出力が相対的に高くて応答速度が相対的に低い内燃機関は「主推力発生装置」を構成し得る。

[0157] 本明細書は、以下の項目に記載の無人航空機および制御方法を開示している。

[0158] [項目 1]

複数のロータを備える無人航空機であって、
前記複数のロータの回転を制御する制御装置をさらに備え、
前記複数のロータは、複数の第 1 ロータと、少なくとも 1 つの第 2 ロータとを含み、
前記制御装置は、
前記無人航空機の重量についての情報を取得し、
取得した前記情報に基づいて、前記少なくとも 1 つの第 2 ロータの回転速度を制御する、無人航空機。

[0159] [項目 2]

前記制御装置は、
前記情報として、前記無人航空機の重量と前記無人航空機の機体に連結された積載物の重量との合計重量の情報を取得し、
前記合計重量に応じて、前記少なくとも 1 つの第 2 ロータの回転速度を制御する、項目 1 に記載の無人航空機。

[0160] [項目 3]

前記積載物は、対地作業機である、項目 2 に記載の無人航空機。

[0161] [項目 4]

前記制御装置は、
前記合計重量と、前記少なくとも 1 つの第 2 ロータの回転速度との間の所定の関係に基づいて、前記少なくとも 1 つの第 2 ロータの回転速度を制御する、項目 2 または 3 に記載の無人航空機。

[0162] [項目 5]

前記制御装置は、前記少なくとも1つの第2ロータが生成する推力の合計と、前記複数の第1ロータが生成する推力の合計との比が所定の範囲内になるように、前記複数の第1ロータの回転速度を制御する、項目1から4のいずれか1項に記載の無人航空機。

[0163] [項目6]

前記制御装置は、
前記無人航空機が飛行している間、前記無人航空機の重量の変化を検知し、

前記無人航空機の重量の変化に応じて、前記複数の第1ロータの回転速度を変更する、項目1から5のいずれか1項に記載の無人航空機。

[0164] [項目7]

前記制御装置は、前記複数の第1ロータの回転速度を変更するとき、前記少なくとも1つの第2ロータの回転速度を維持する、項目6に記載の無人航空機。

[0165] [項目8]

前記制御装置は、
前記無人航空機が飛行している間、前記無人航空機の重量の変化を検知し、

前記無人航空機の重量の変化に応じて、前記少なくとも1つの第2ロータの回転速度を変更する、項目1から5のいずれか1項に記載の無人航空機。

[0166] [項目9]

前記制御装置は、前記少なくとも1つの第2ロータの回転速度を変更するとき、前記少なくとも1つの第2ロータが生成する推力の合計と、前記複数の第1ロータが生成する推力の合計との比を維持する、項目8に記載の無人航空機。

[0167] [項目10]

前記少なくとも1つの第2ロータを駆動する内燃機関と、
前記複数の第1ロータをそれぞれ駆動する複数の電動モータと、

をさらに備える、項目 1 から 9 のいずれか 1 項に記載の無人航空機。

[0168] [項目 1 1]

前記少なくとも 1 つの第 2 ロータの直径は、前記複数の第 1 ロータのそれぞれの直径よりも大きい、項目 1 から 10 のいずれか 1 項に記載の無人航空機。

[0169] [項目 1 2]

前記少なくとも 1 つの第 2 ロータは、推力の生成に用いられ、
前記複数の第 1 ロータは、推力の生成および姿勢制御に用いられる、項目 1 から 11 のいずれか 1 項に記載の無人航空機。

[0170] [項目 1 3]

前記少なくとも 1 つの第 2 ロータは、発生可能な推力の合計が、前記複数の第 1 ロータよりも大きい、項目 1 から 12 のいずれか 1 項に記載の無人航空機。

[0171] [項目 1 4]

前記少なくとも 1 つの第 2 ロータは、それぞれが発生可能な推力が、前記複数の第 1 ロータよりも大きい、項目 1 から 13 のいずれか 1 項に記載の無人航空機。

[0172] [項目 1 5]

前記無人航空機の機体の中心から前記少なくとも 1 つの第 2 ロータの各々の回転軸までの距離は、前記機体の中心から前記複数の第 1 ロータの各々の回転軸までの距離よりも短い、項目 1 から 14 のいずれか 1 項に記載の無人航空機。

[0173] [項目 1 6]

前記無人航空機の重量の変化を検出するセンサをさらに備える、項目 1 から 15 のいずれか 1 項に記載の無人航空機。

[0174] [項目 1 7]

複数のロータを備える無人航空機の制御方法であって、
前記複数のロータは、複数の第 1 ロータと、少なくとも 1 つの第 2 ロータ

とを含み、

前記無人航空機の重量についての情報を取得することと、

取得した前記情報に基づいて、前記少なくとも1つの第2ロータの回転速度を制御することと、

を含む、制御方法。

産業上の利用可能性

[0175] 本開示の無人航空機は、空撮、測量、物流、および農薬散布の用途だけではなく、農作業に関わる対地作業、収穫物および農業資材の運搬などの用途にも広く利用され得る。

符号の説明

[0176] 2・・・ロータ（プロペラ）、3・・・回転駆動装置、4・・・機体本体、4 a・・・制御装置、4 b・・・センサ群、4 c・・・通信装置、5・・・機体フレーム、10・・・マルチコプタ、12・・・サブロータ、14・・・モータ、16・・・ESC、22・・・メインロータ、52・・・バッテリー、54・・・バッテリーマネジメント装置

請求の範囲

- [請求項1] 複数のロータを備える無人航空機であって、
前記複数のロータの回転を制御する制御装置をさらに備え、
前記複数のロータは、複数の第1ロータと、少なくとも1つの第2ロータとを含み、
前記制御装置は、
前記無人航空機の重量についての情報を取得し、
取得した前記情報に基づいて、前記少なくとも1つの第2ロータの回転速度を制御する、無人航空機。
- [請求項2] 前記制御装置は、
前記情報として、前記無人航空機の重量と前記無人航空機の機体に連結された積載物の重量との合計重量の情報を取得し、
前記合計重量に応じて、前記少なくとも1つの第2ロータの回転速度を制御する、請求項1に記載の無人航空機。
- [請求項3] 前記積載物は、対地作業機である、請求項2に記載の無人航空機。
- [請求項4] 前記制御装置は、
前記合計重量と、前記少なくとも1つの第2ロータの回転速度との間の所定の関係に基づいて、前記少なくとも1つの第2ロータの回転速度を制御する、請求項2または3に記載の無人航空機。
- [請求項5] 前記制御装置は、前記少なくとも1つの第2ロータが生成する推力の合計と、前記複数の第1ロータが生成する推力の合計との比が所定の範囲内になるように、前記複数の第1ロータの回転速度を制御する、請求項1から4のいずれか1項に記載の無人航空機。
- [請求項6] 前記制御装置は、
前記無人航空機が飛行している間、前記無人航空機の重量の変化を検知し、
前記無人航空機の重量の変化に応じて、前記複数の第1ロータの回転速度を変更する、請求項1から5のいずれか1項に記載の無人航空機。

機。

[請求項7] 前記制御装置は、前記複数の第1ロータの回転速度を変更するとき、前記少なくとも1つの第2ロータの回転速度を維持する、請求項6に記載の無人航空機。

[請求項8] 前記制御装置は、
前記無人航空機が飛行している間、前記無人航空機の重量の変化を検知し、
前記無人航空機の重量の変化に応じて、前記少なくとも1つの第2ロータの回転速度を変更する、請求項1から5のいずれか1項に記載の無人航空機。

[請求項9] 前記制御装置は、前記少なくとも1つの第2ロータの回転速度を変更するとき、前記少なくとも1つの第2ロータが生成する推力の合計と、前記複数の第1ロータが生成する推力の合計との比を維持する、請求項8に記載の無人航空機。

[請求項10] 前記少なくとも1つの第2ロータを駆動する内燃機関と、
前記複数の第1ロータをそれぞれ駆動する複数の電動モータと、
をさらに備える、請求項1から9のいずれか1項に記載の無人航空機。

[請求項11] 前記少なくとも1つの第2ロータの直径は、前記複数の第1ロータのそれぞれの直径よりも大きい、請求項1から10のいずれか1項に記載の無人航空機。

[請求項12] 前記少なくとも1つの第2ロータは、推力の生成に用いられ、
前記複数の第1ロータは、推力の生成および姿勢制御に用いられる、請求項1から11のいずれか1項に記載の無人航空機。

[請求項13] 前記少なくとも1つの第2ロータは、発生可能な推力の合計が、前記複数の第1ロータよりも大きい、請求項1から12のいずれか1項に記載の無人航空機。

[請求項14] 前記少なくとも1つの第2ロータは、それぞれが発生可能な推力が

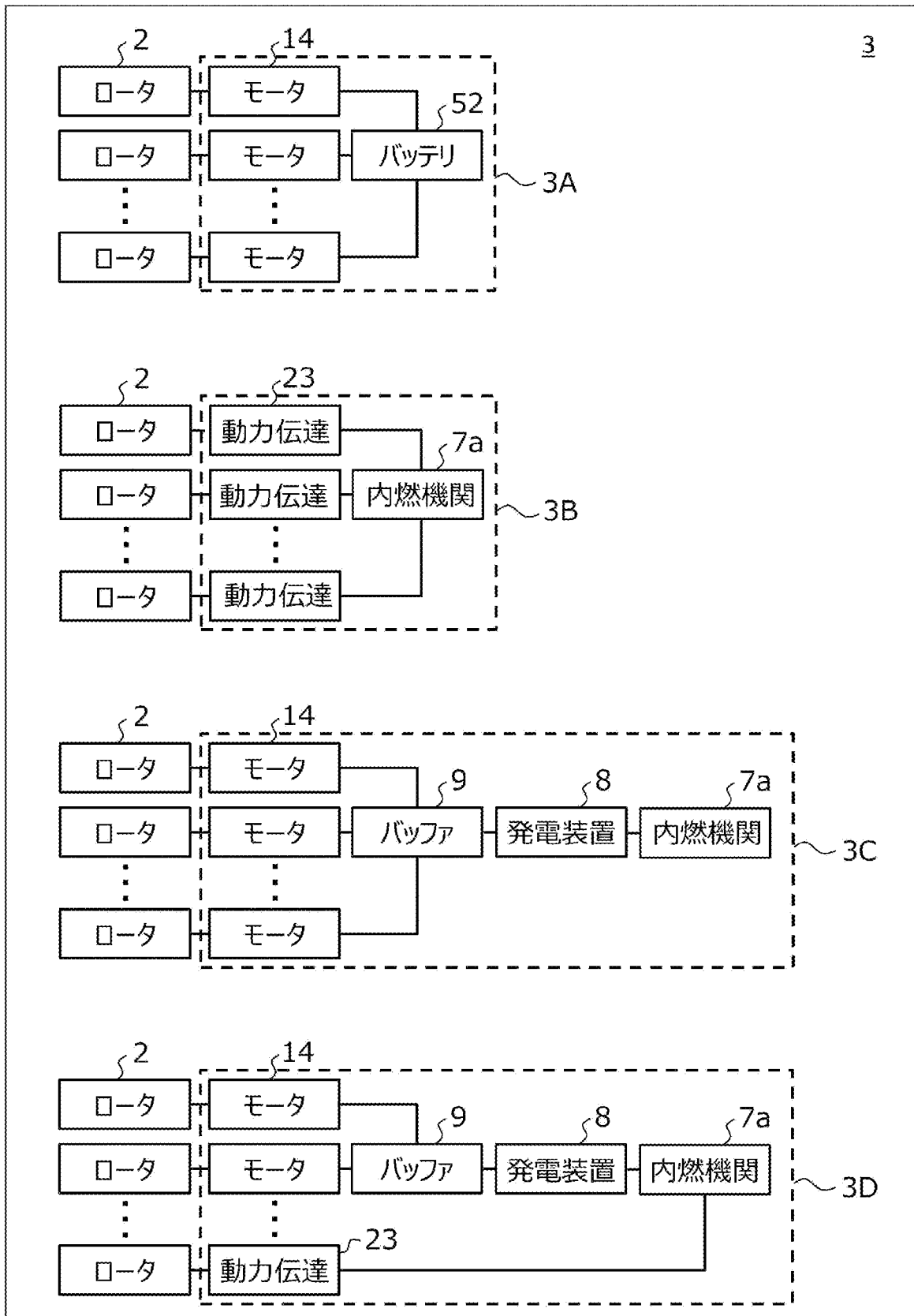
、前記複数の第1ロータよりも大きい、請求項1から13のいずれか1項に記載の無人航空機。

[請求項15] 前記無人航空機の機体の中心から前記少なくとも1つの第2ロータの各々の回転軸までの距離は、前記機体の中心から前記複数の第1ロータの各々の回転軸までの距離よりも短い、請求項1から14のいずれか1項に記載の無人航空機。

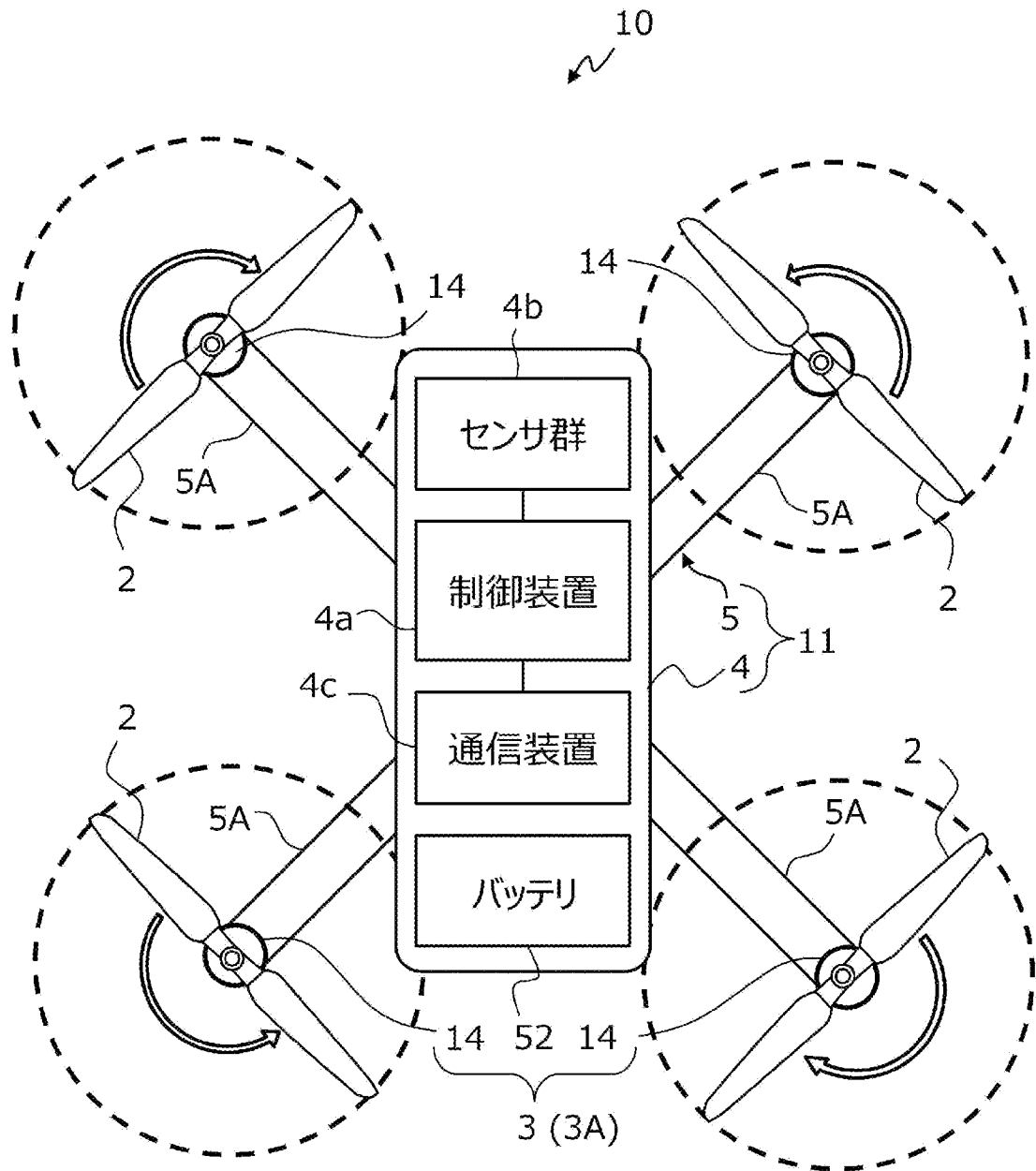
[請求項16] 前記無人航空機の重量の変化を検出するセンサをさらに備える、請求項1から15のいずれか1項に記載の無人航空機。

[請求項17] 複数のロータを備える無人航空機の制御方法であって、
前記複数のロータは、複数の第1ロータと、少なくとも1つの第2ロータとを含み、
前記無人航空機の重量についての情報を取得することと、
取得した前記情報に基づいて、前記少なくとも1つの第2ロータの回転速度を制御することと、
を含む、制御方法。

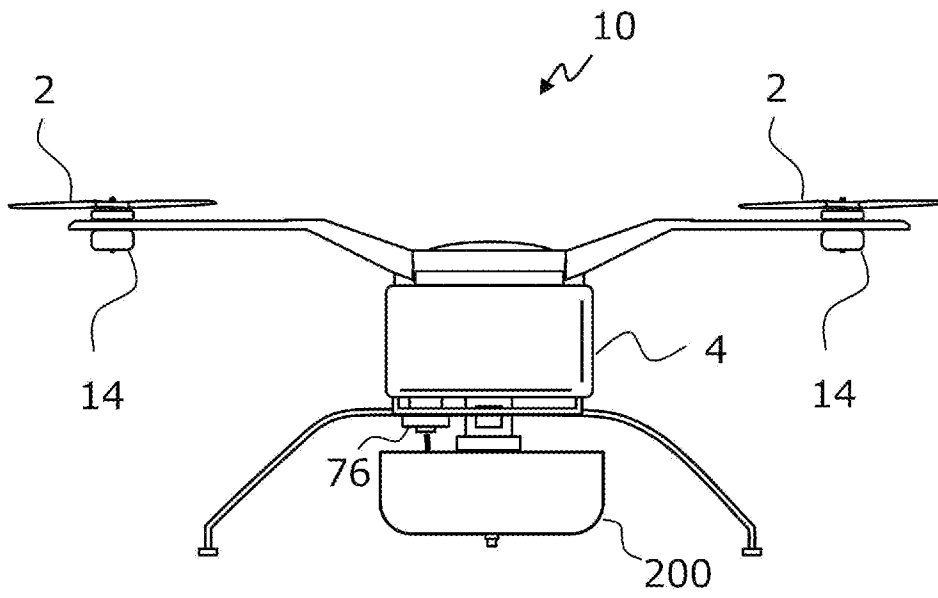
[図1A]



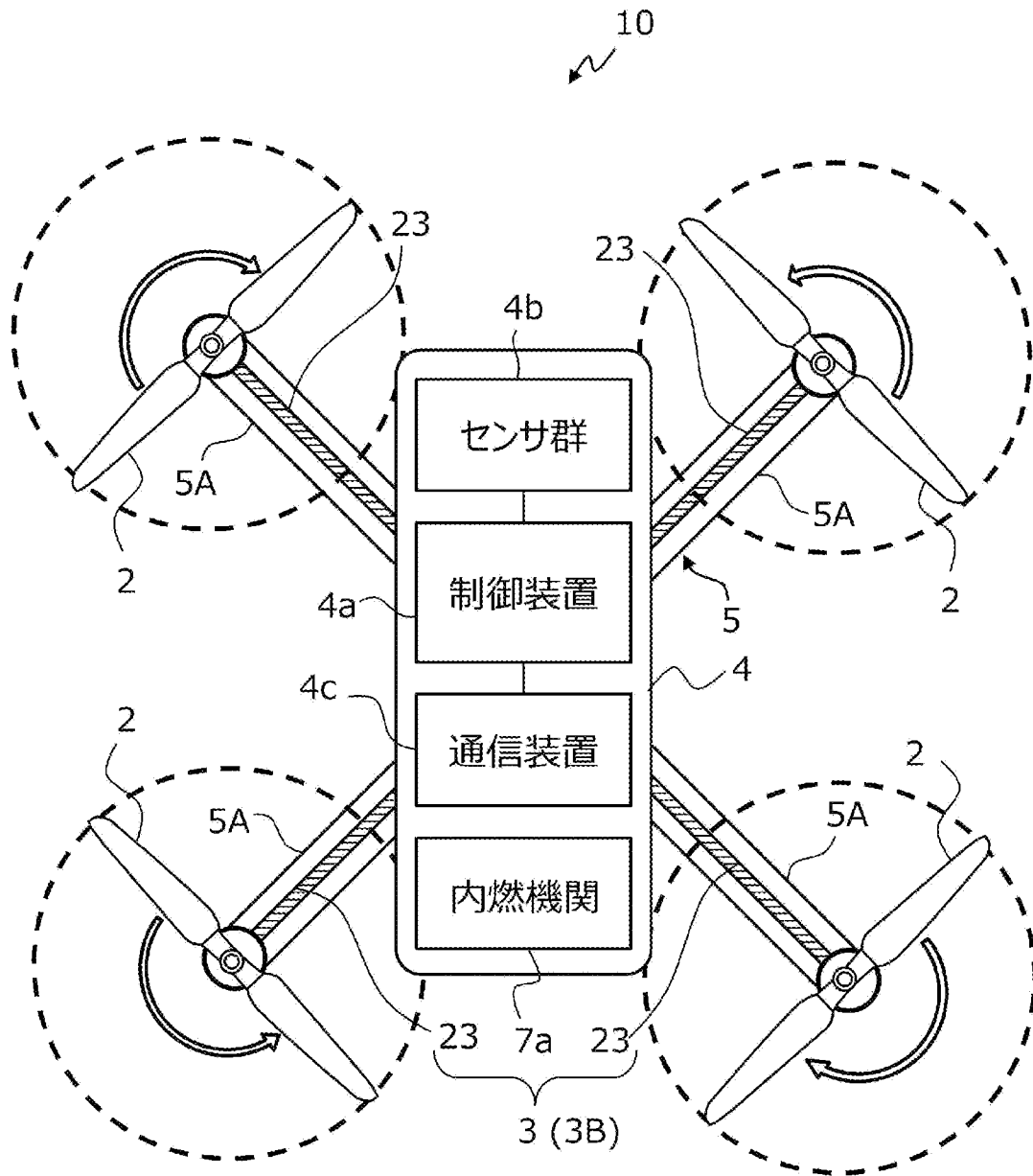
[図1B]



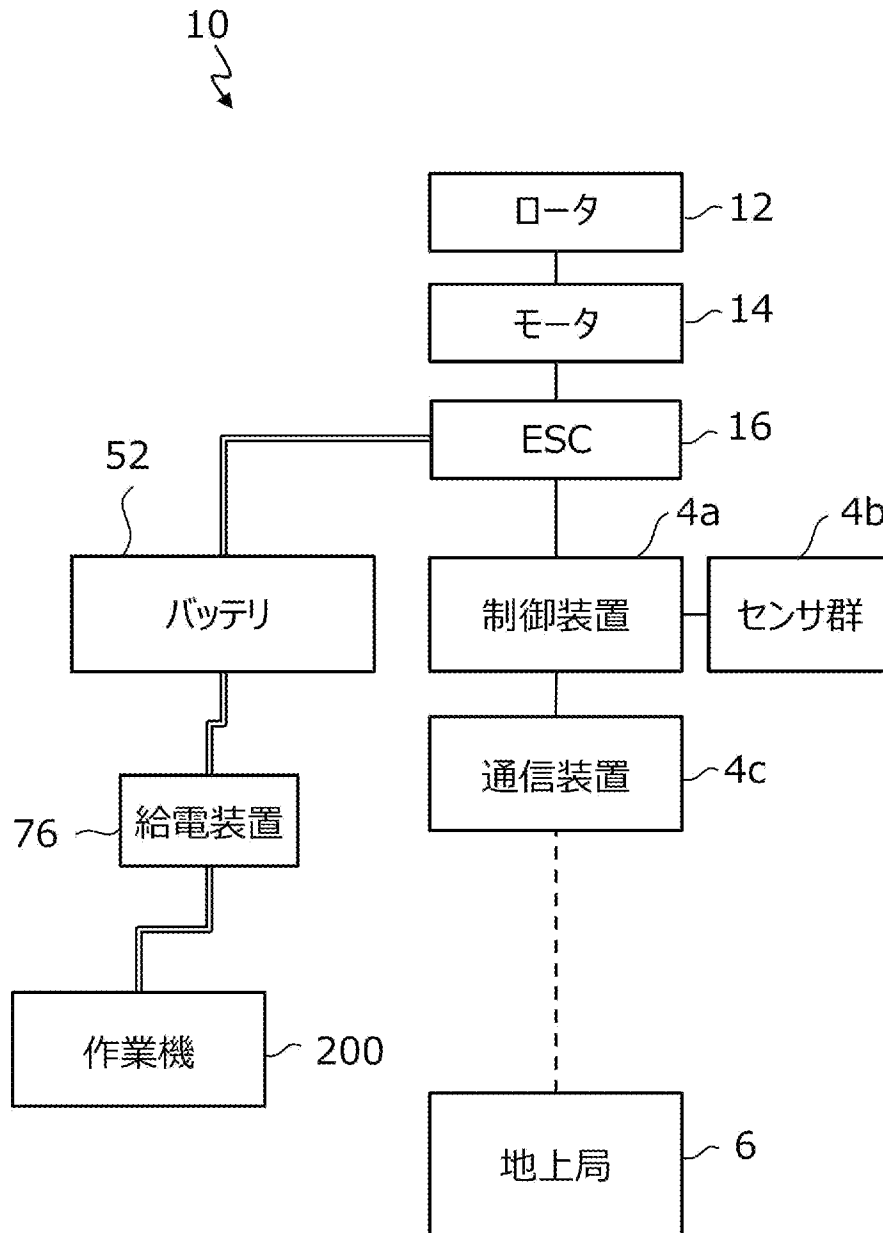
[図1C]



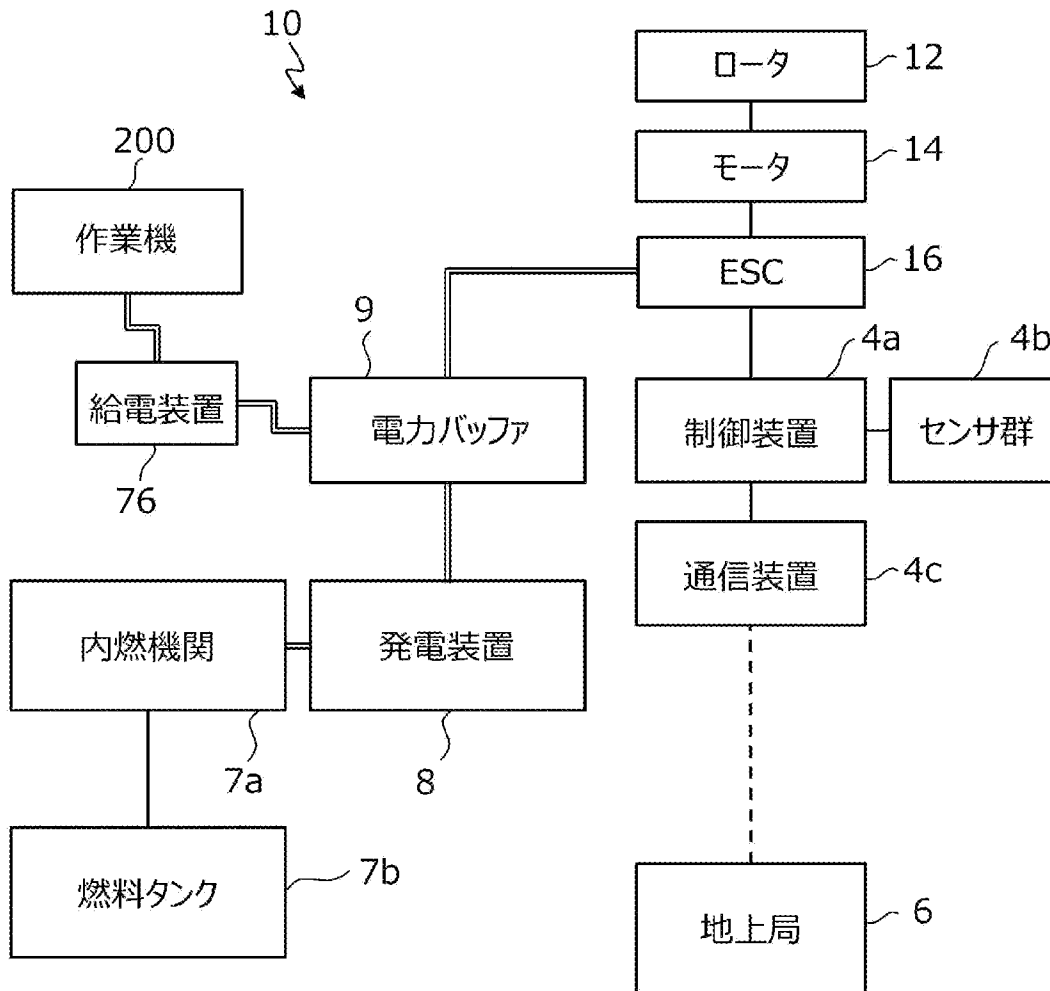
[図1D]



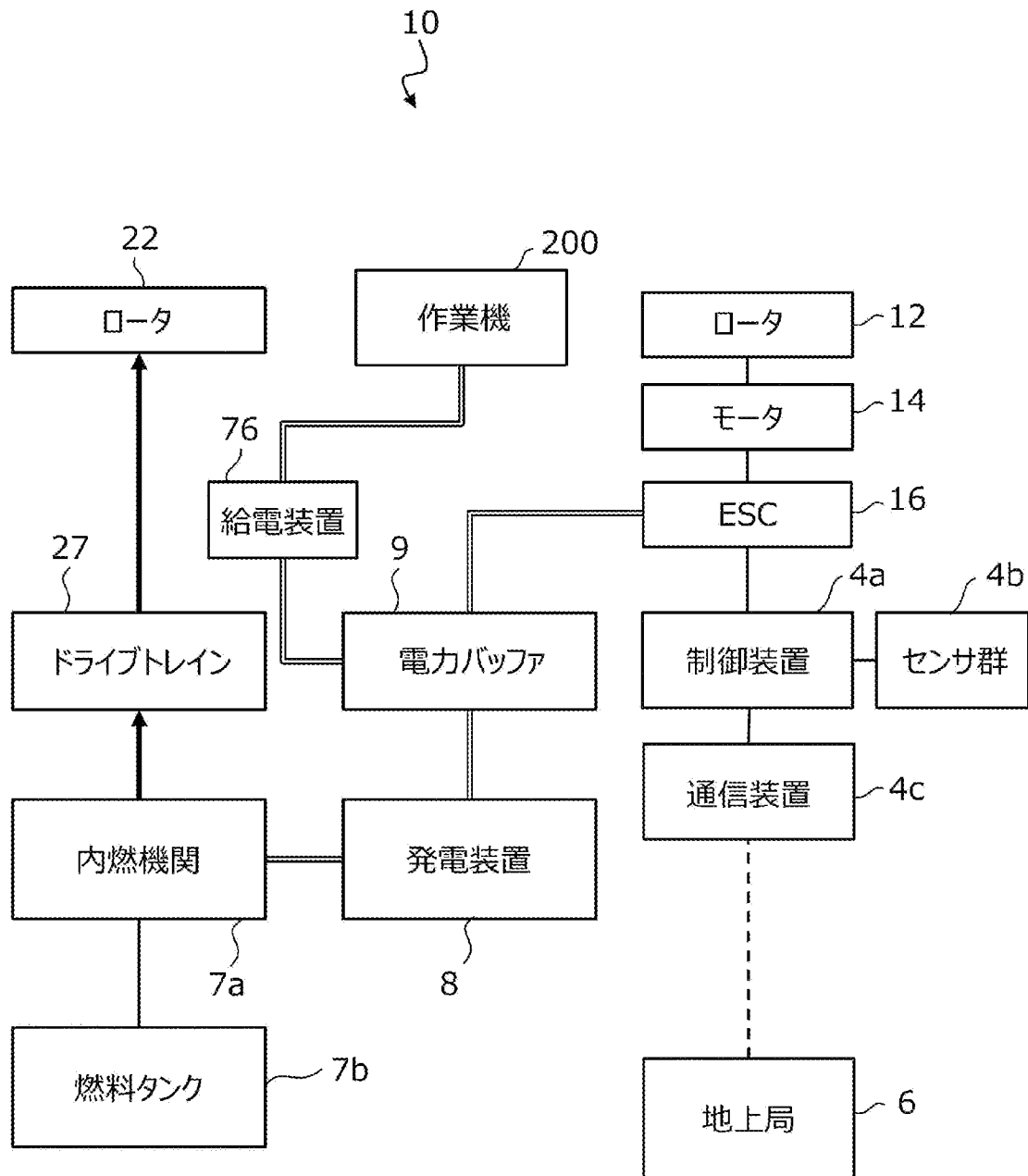
[図2A]



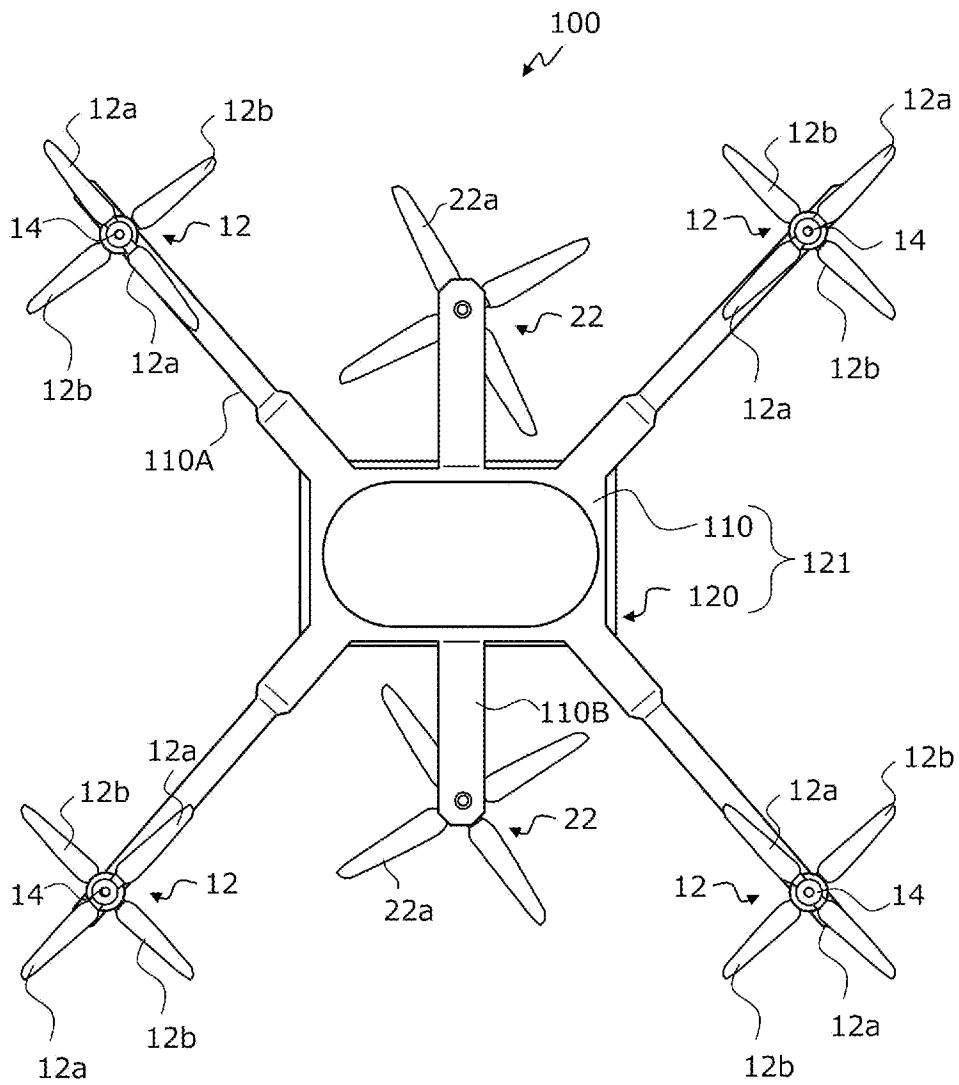
[図2B]



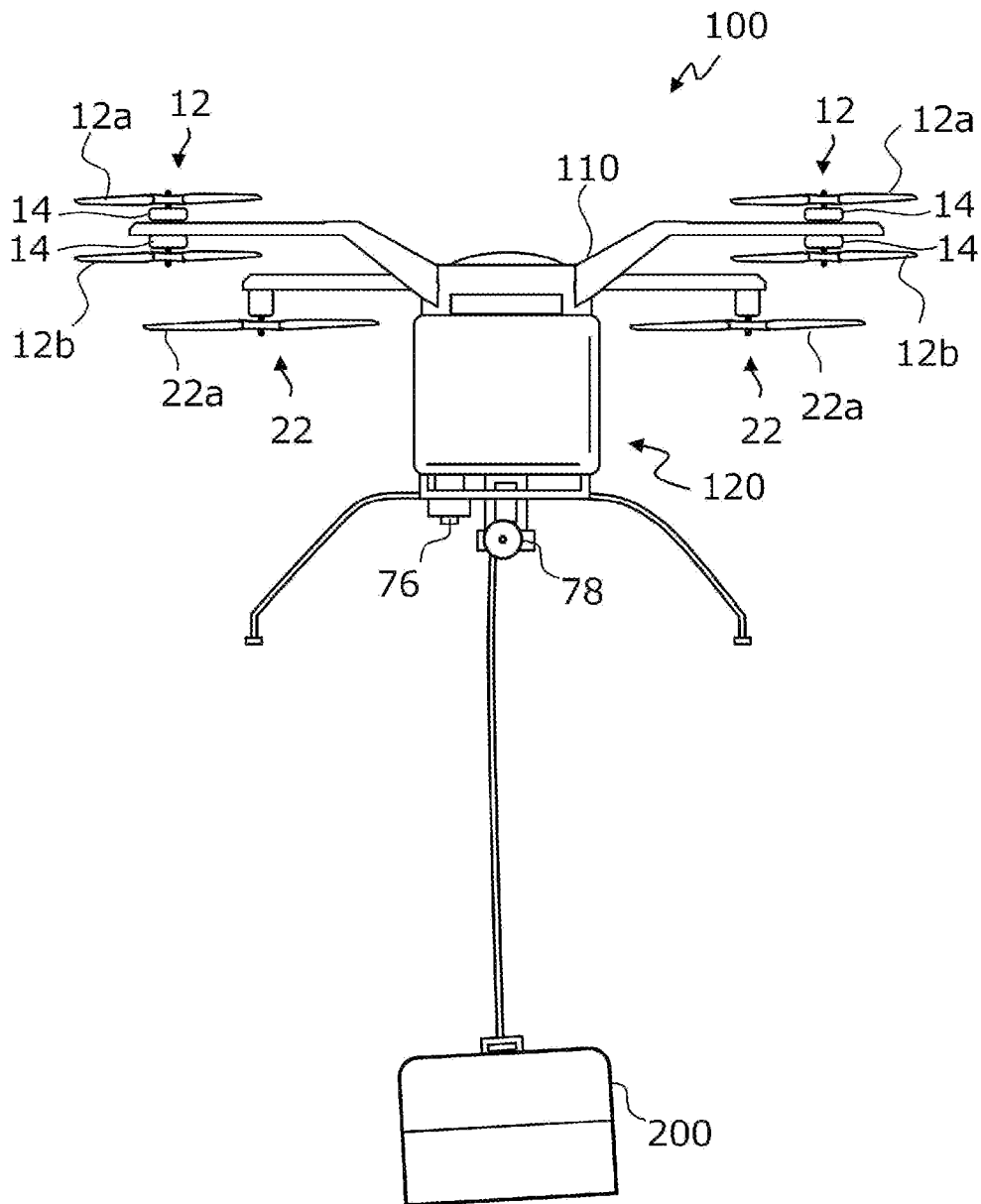
[図2C]



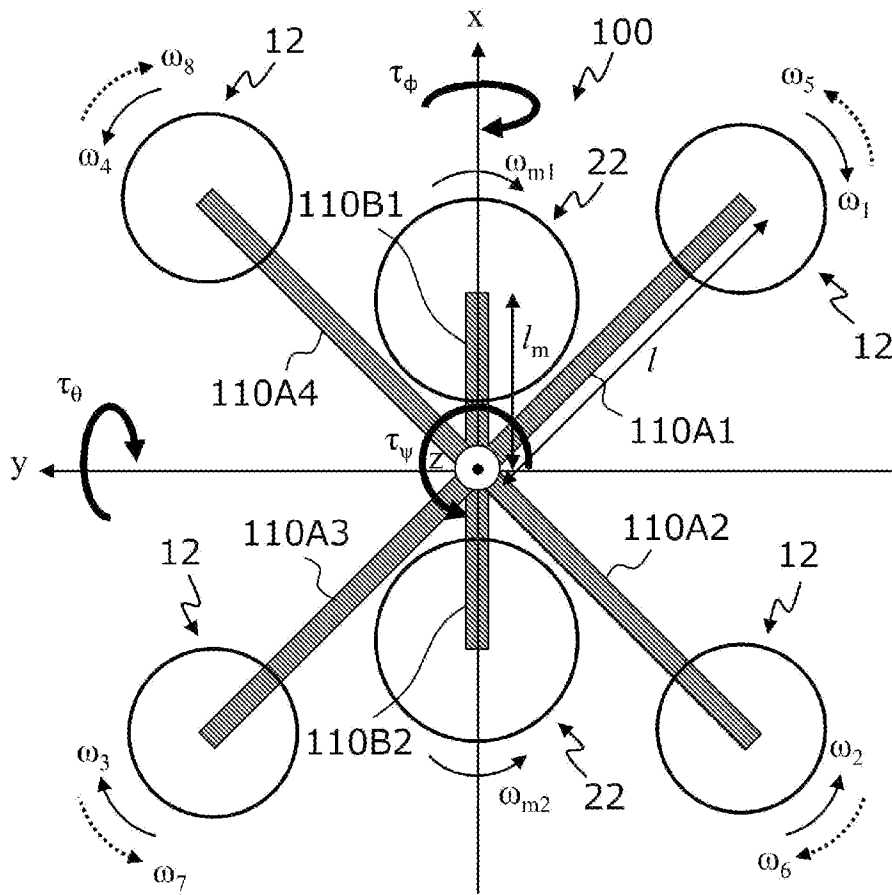
[図3A]



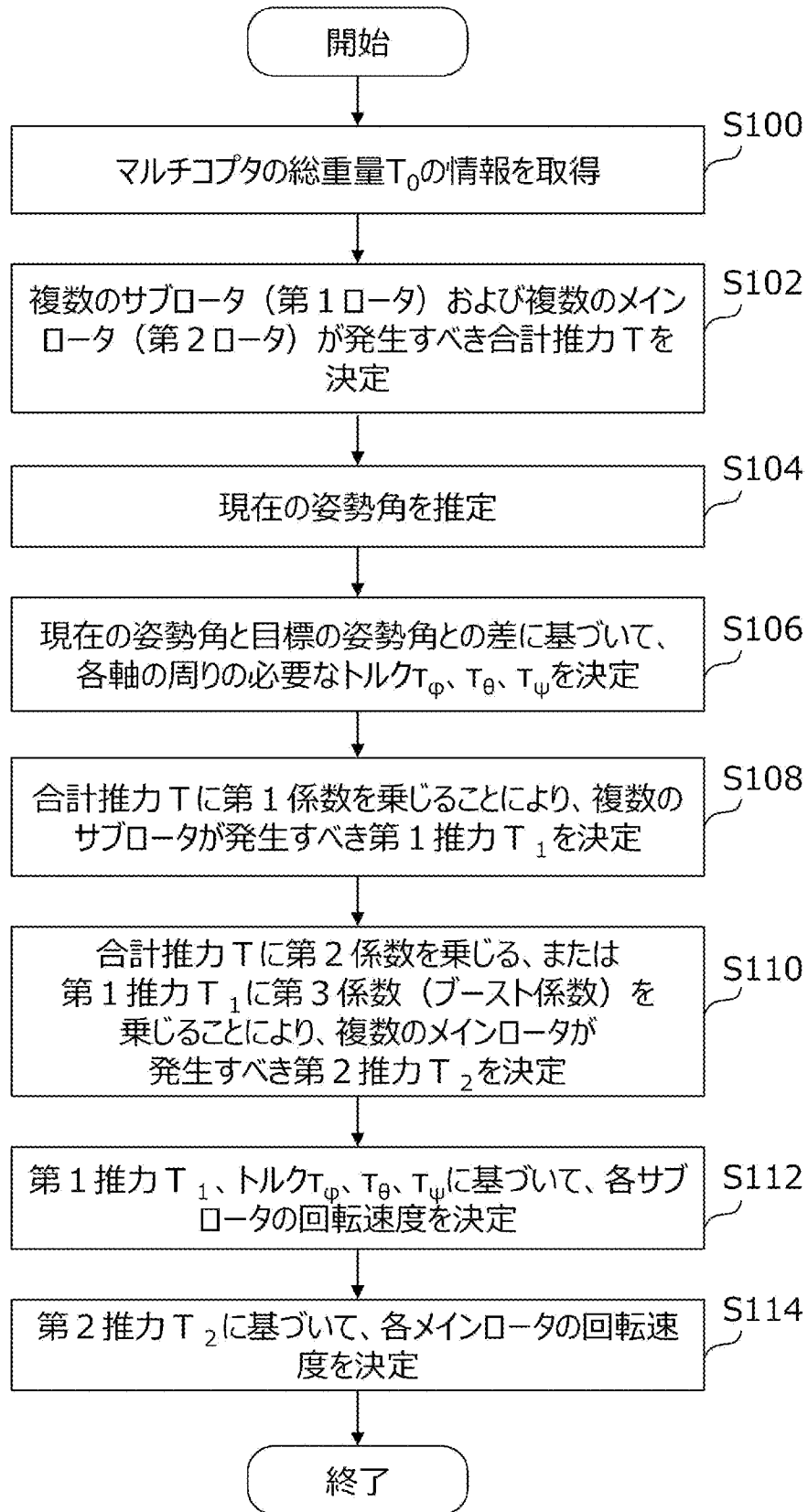
[図3B]



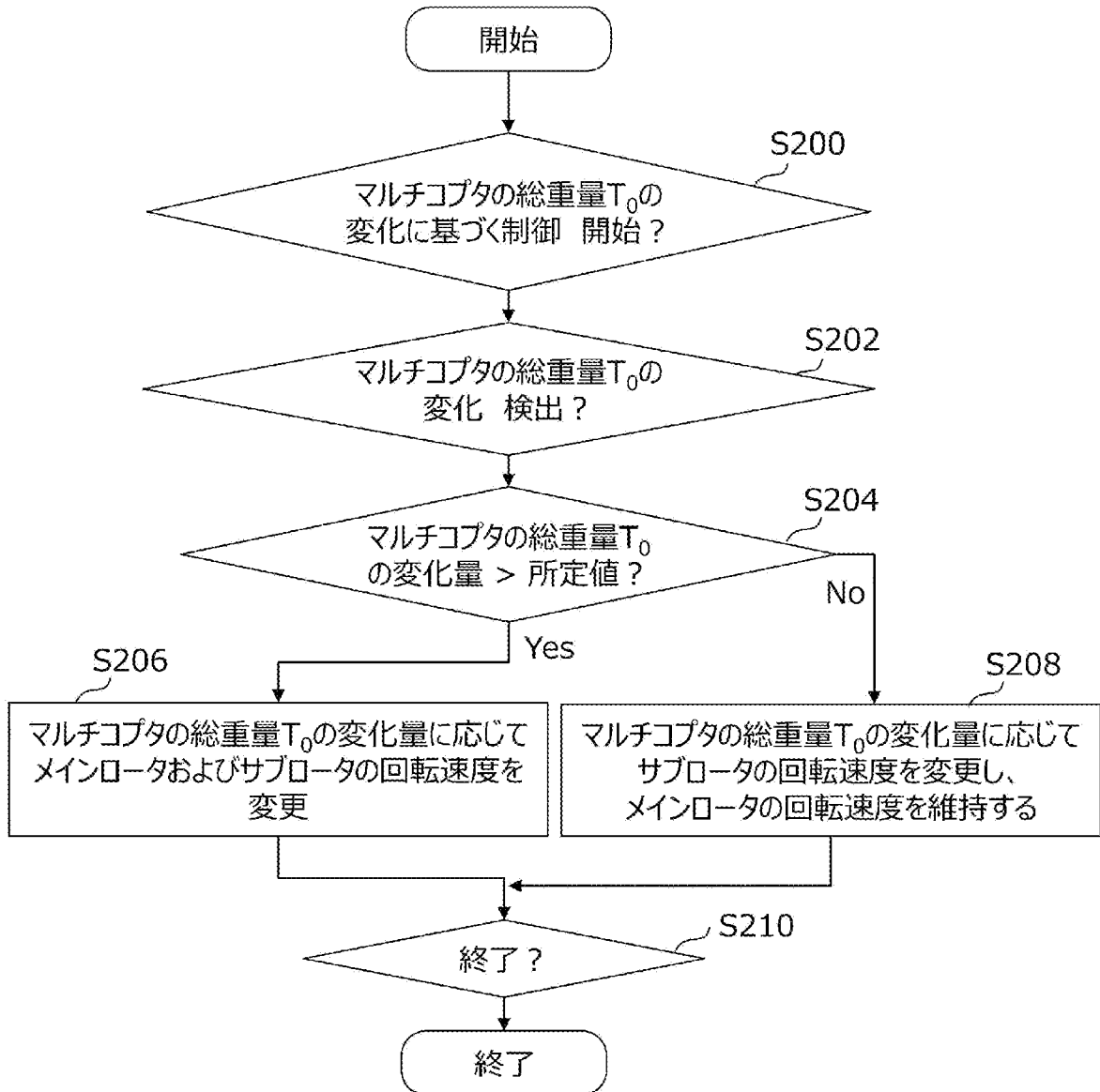
[図5]



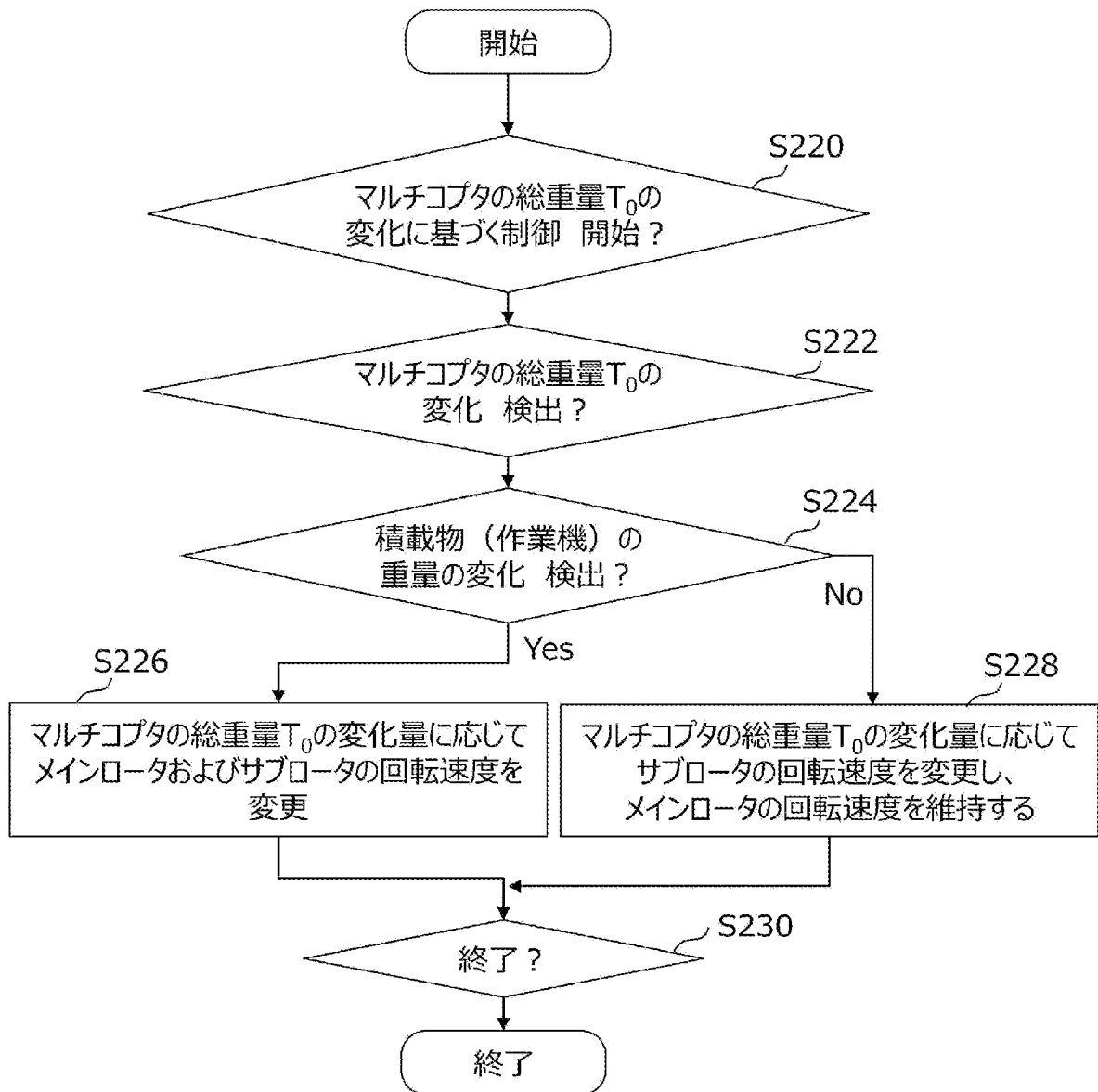
[図6]



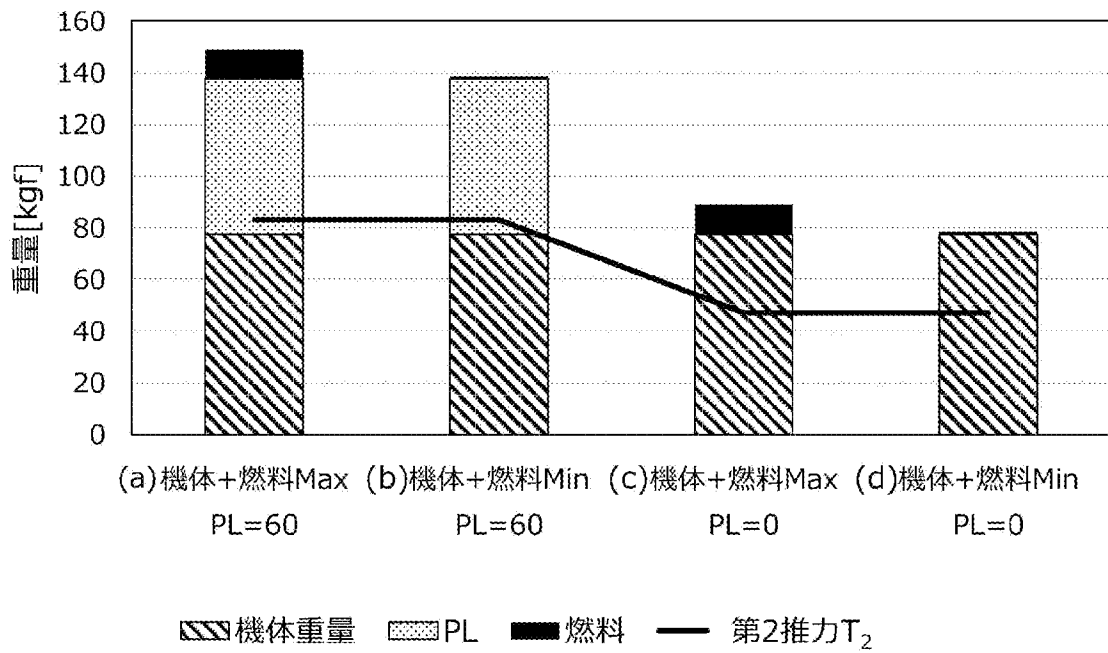
[図7]



[図8A]

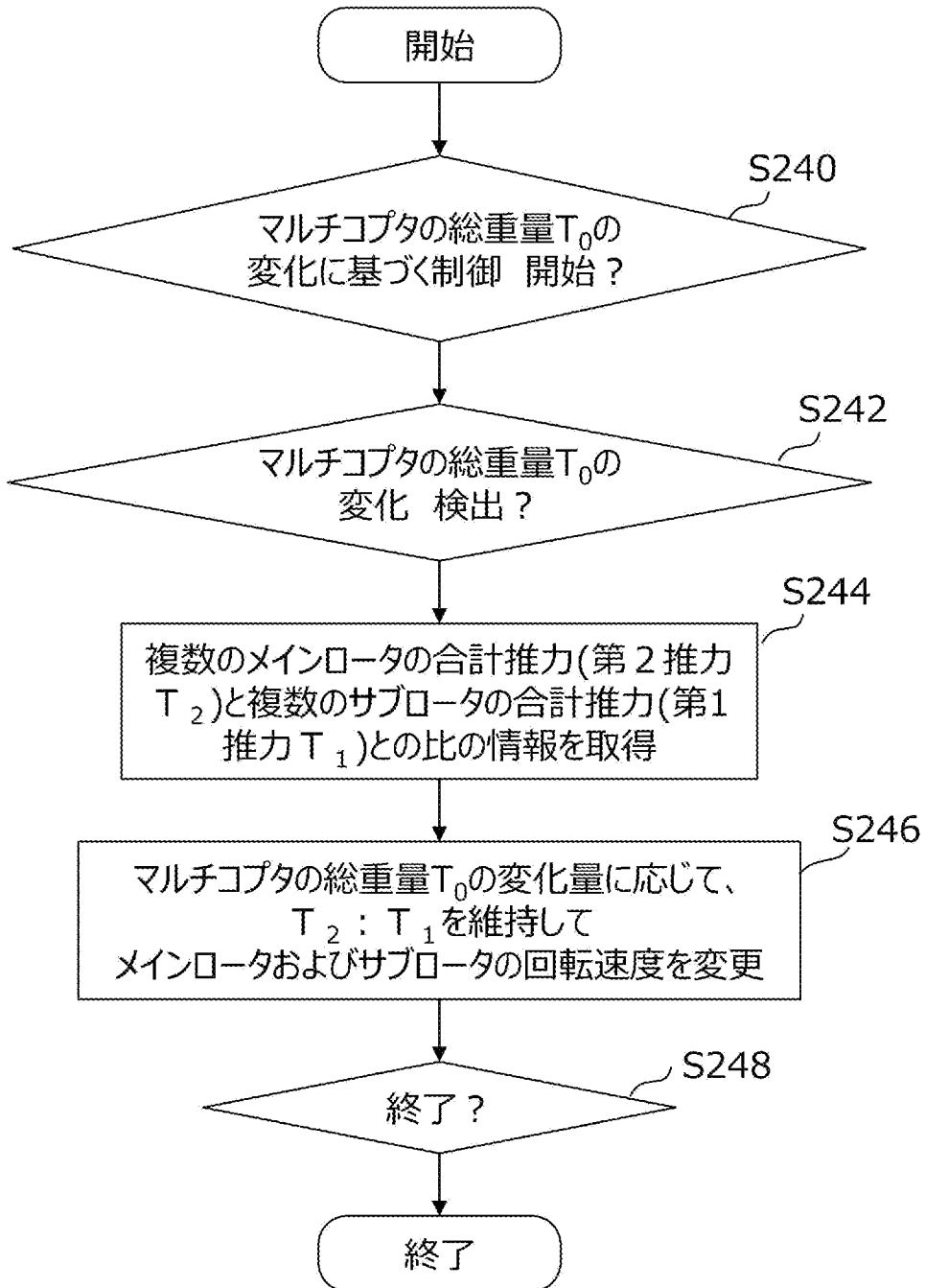


[図8B]

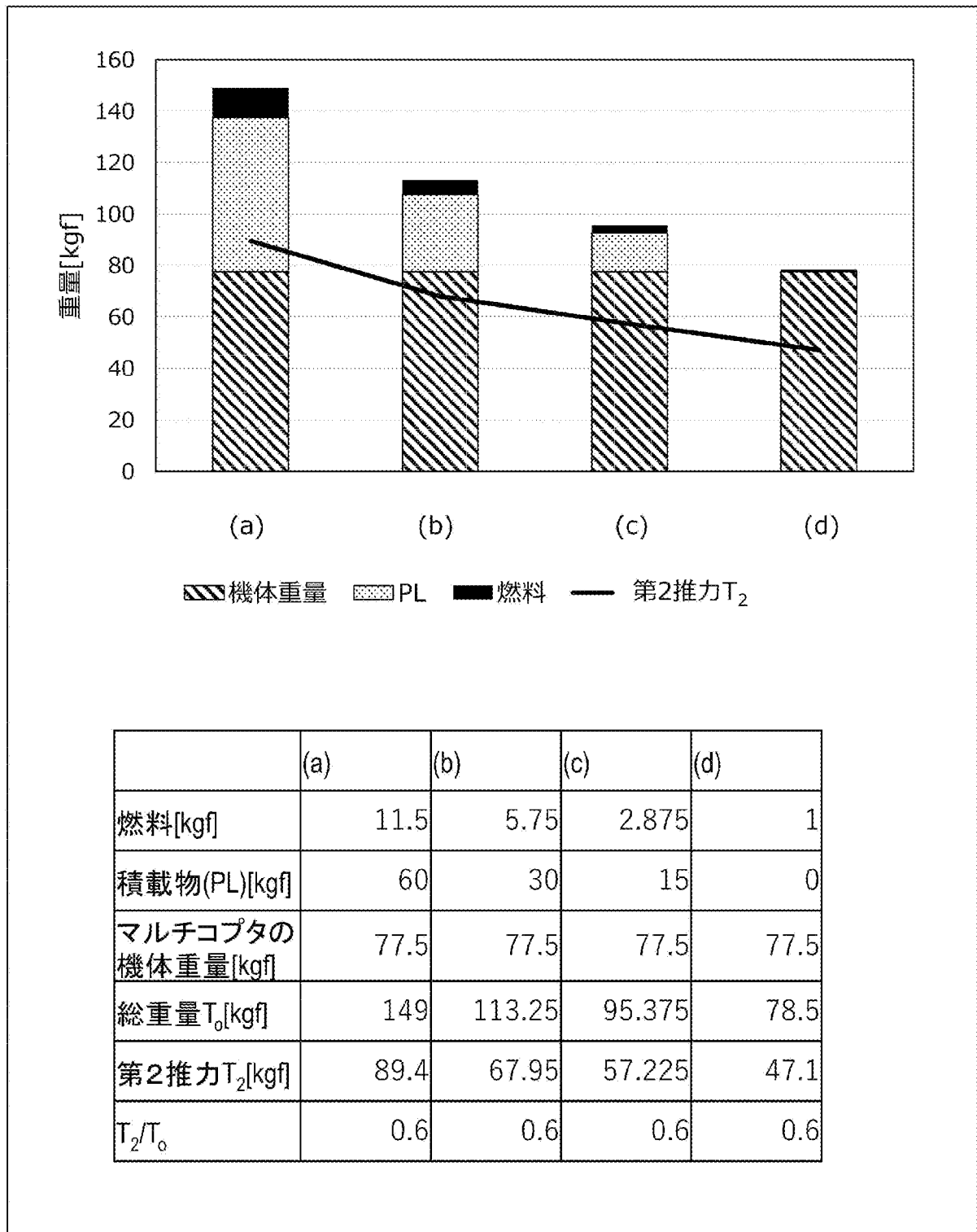


	(a)	(b)	(c)	(d)
燃料[kgf]	11.5	1	11.5	1
積載物(PL)[kgf]	60	60	0	0
マルチコプタの機体重量[kgf]	77.5	77.5	77.5	77.5
総重量 T_0 [kgf]	149	138.5	89	78.5
第2推力 T_2 [kgf]	83.1	83.1	47.1	47.1
T_2/T_0	0.56	0.6	0.53	0.6

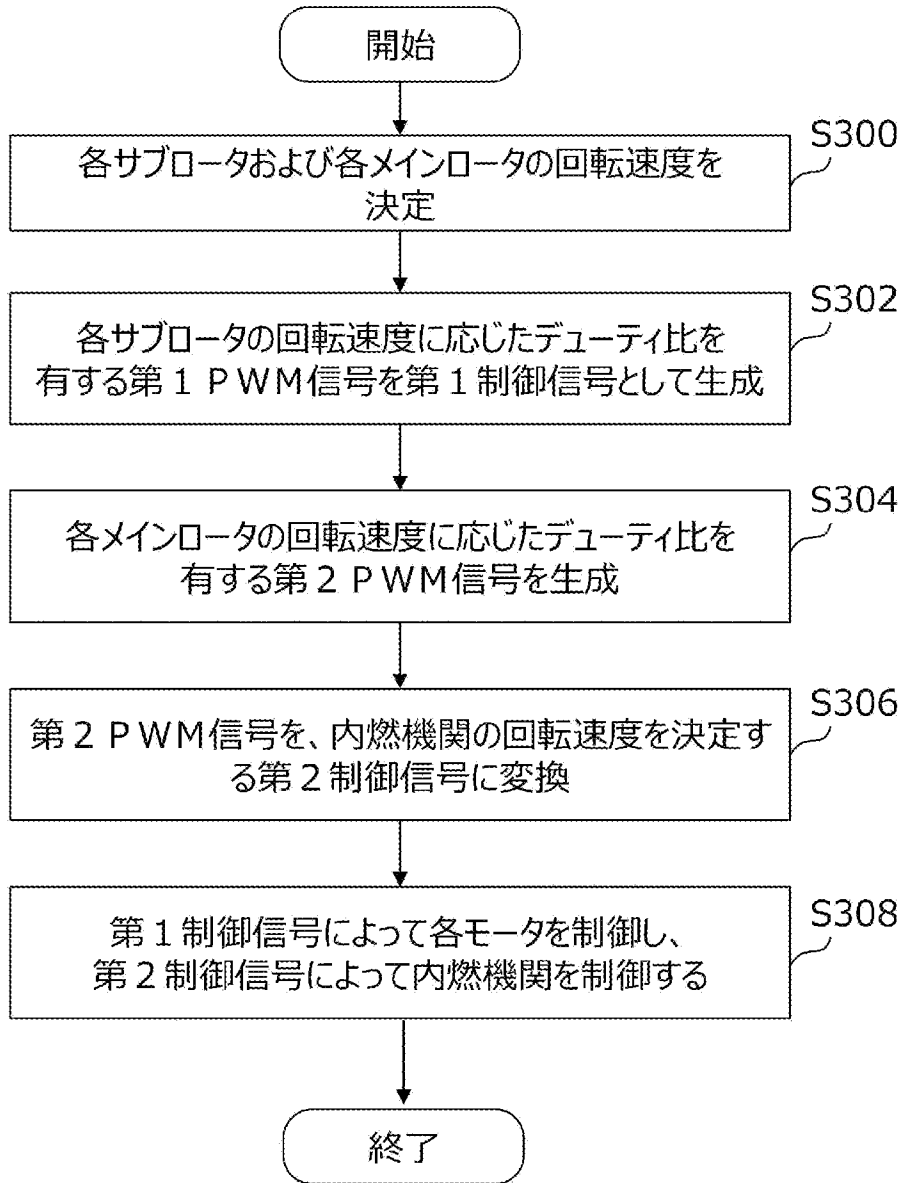
[図9A]



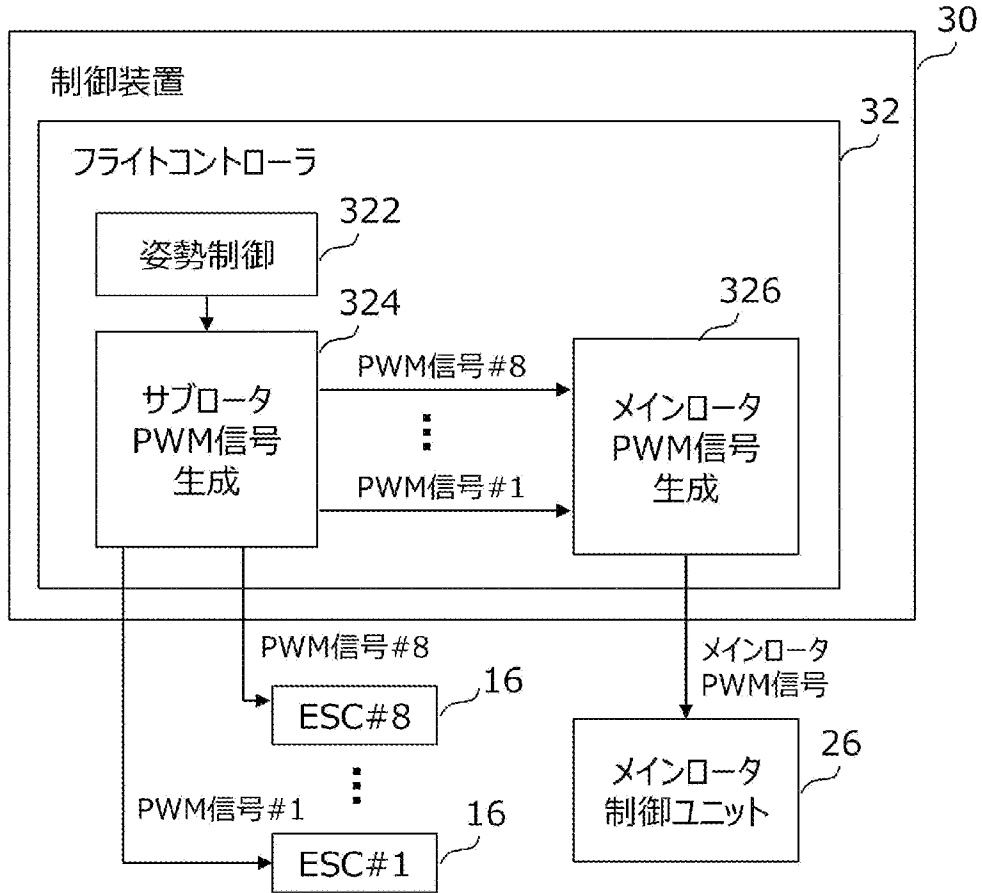
[図9B]



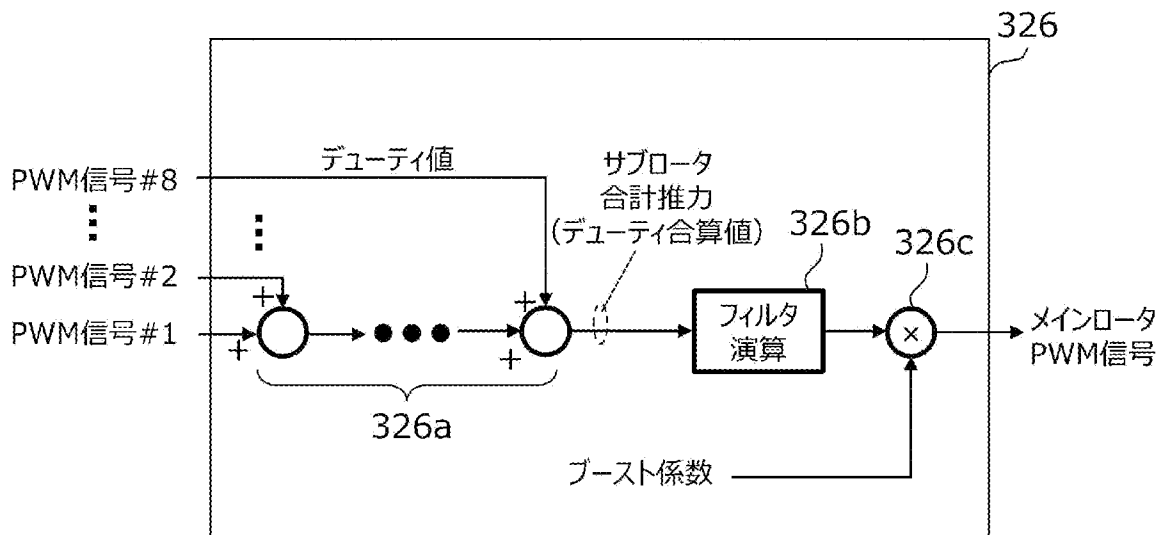
[図10]



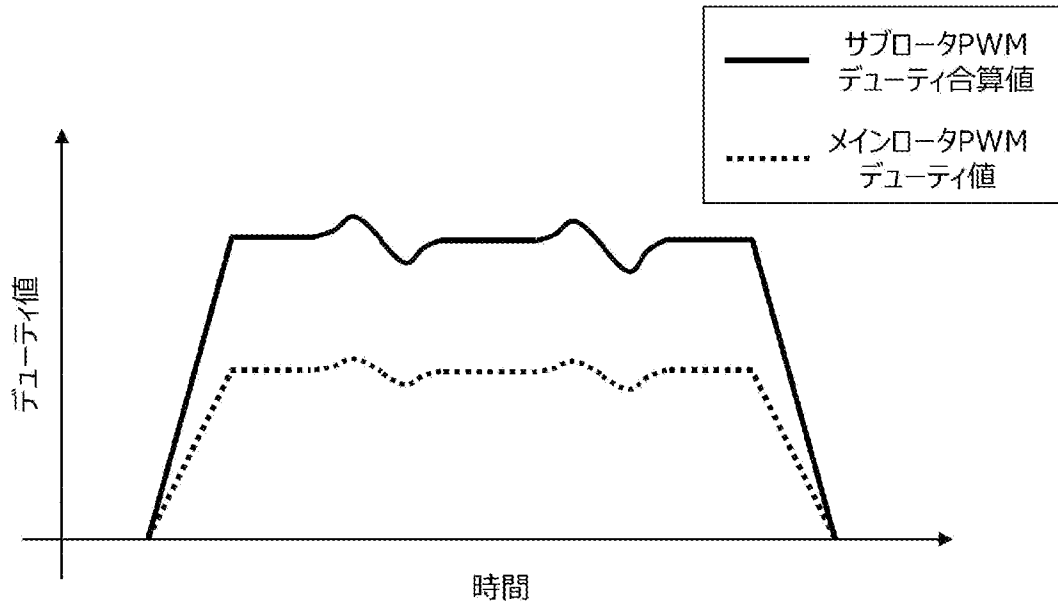
[図11]



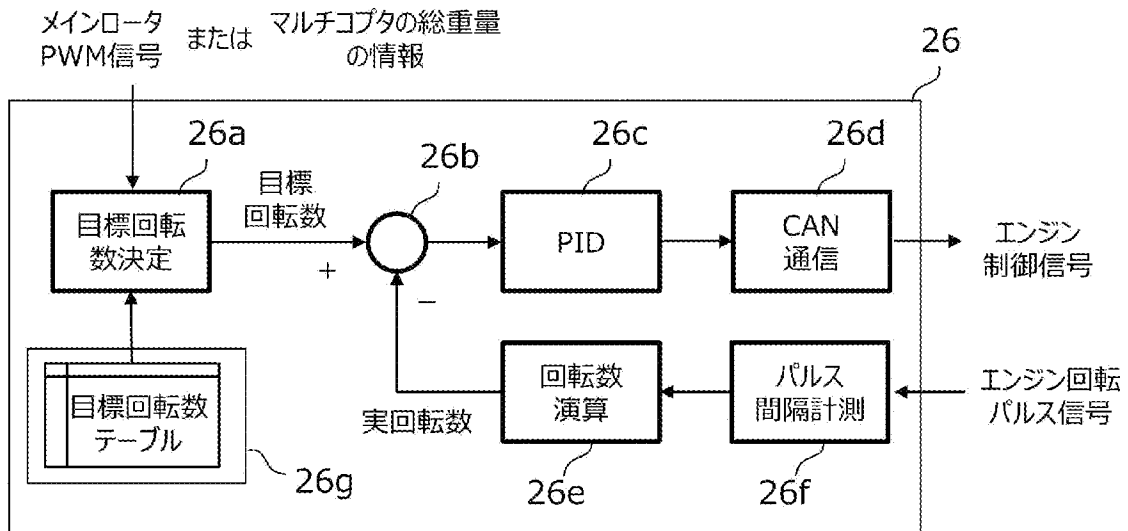
[図12]



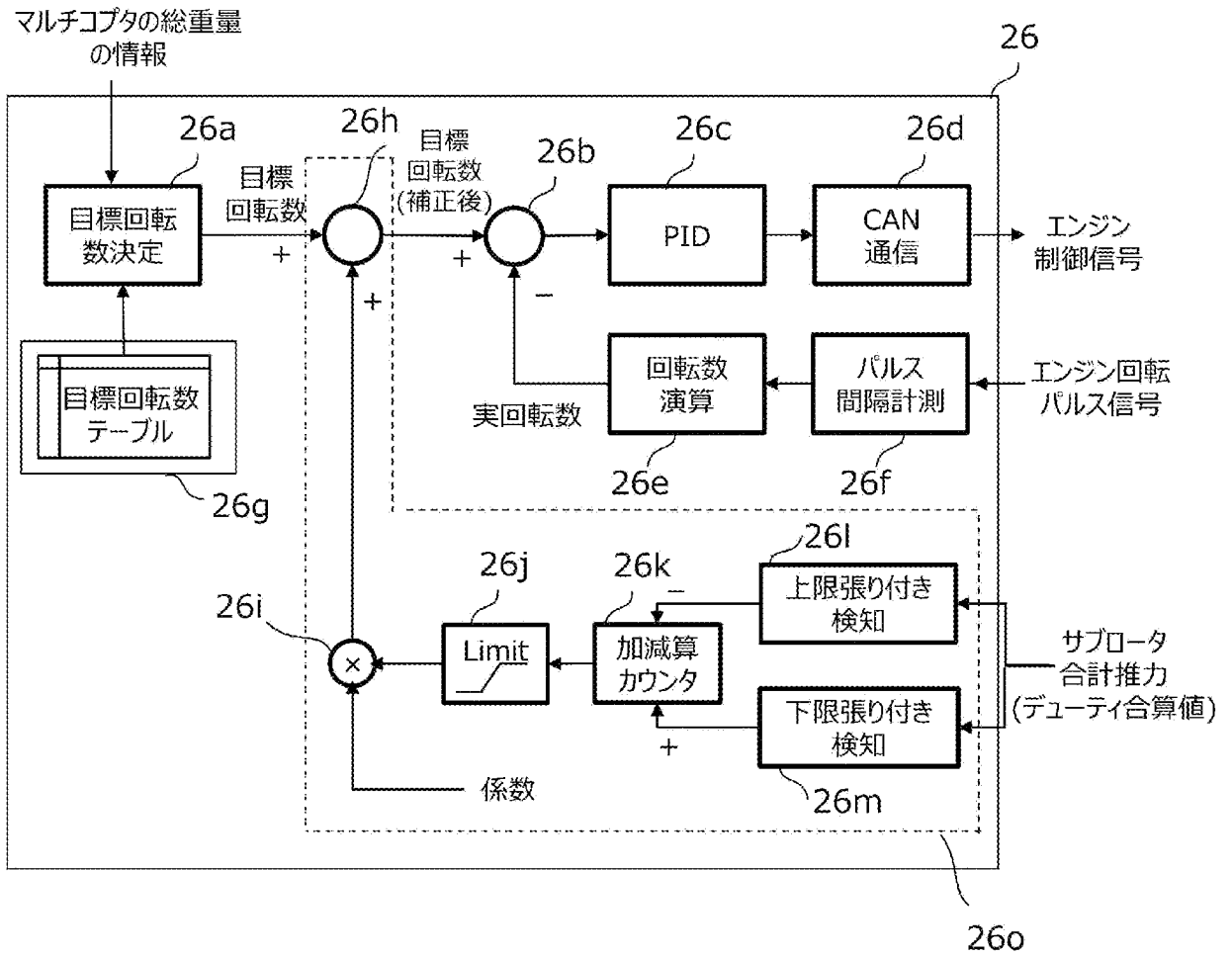
[図13]



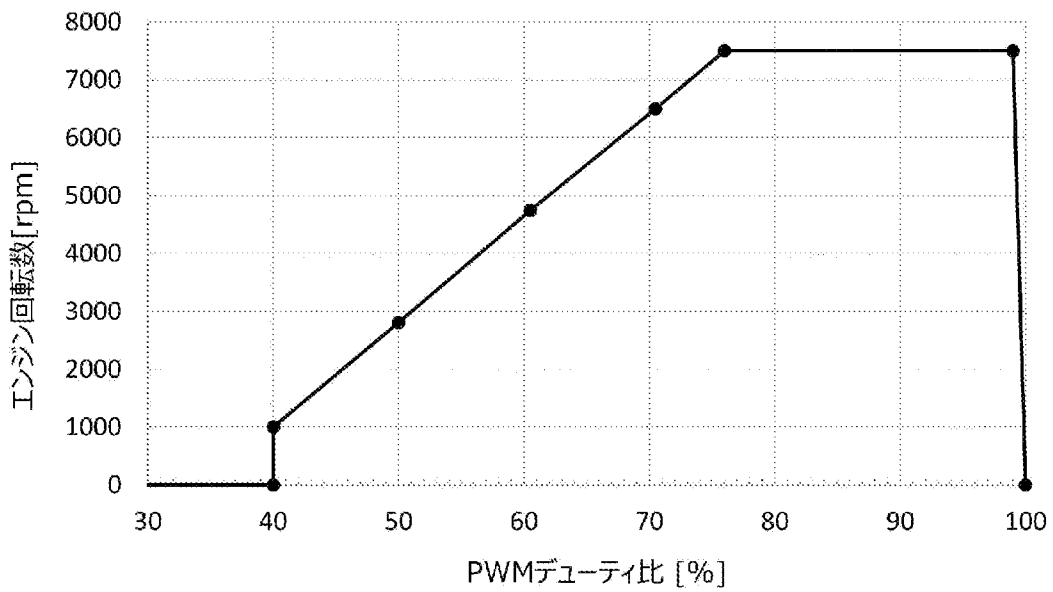
[図14]



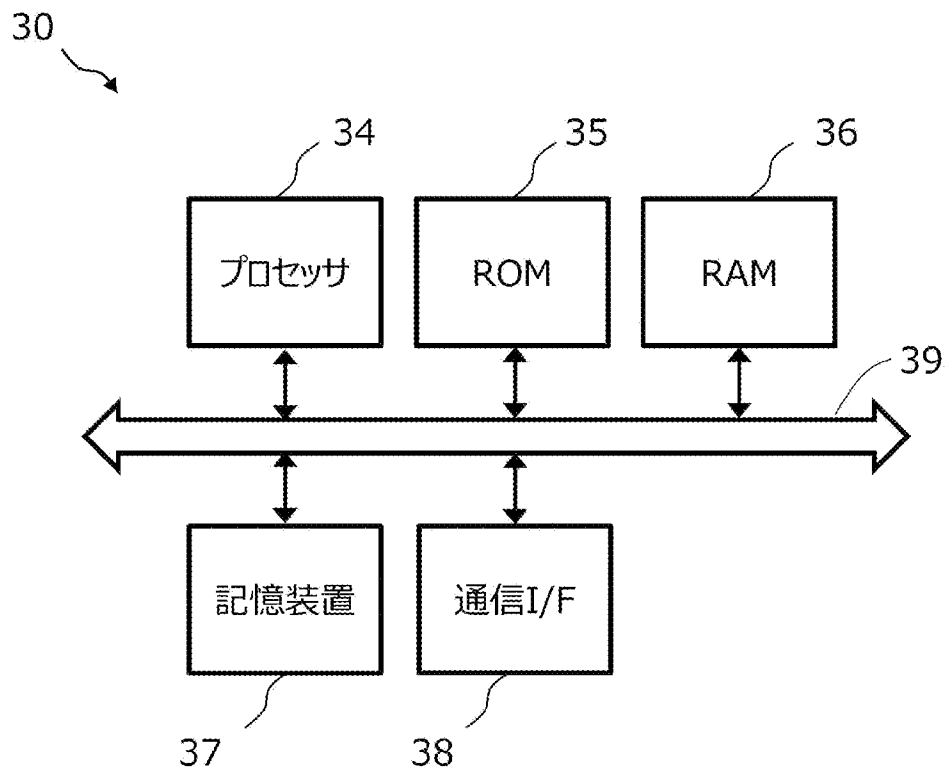
[図15]



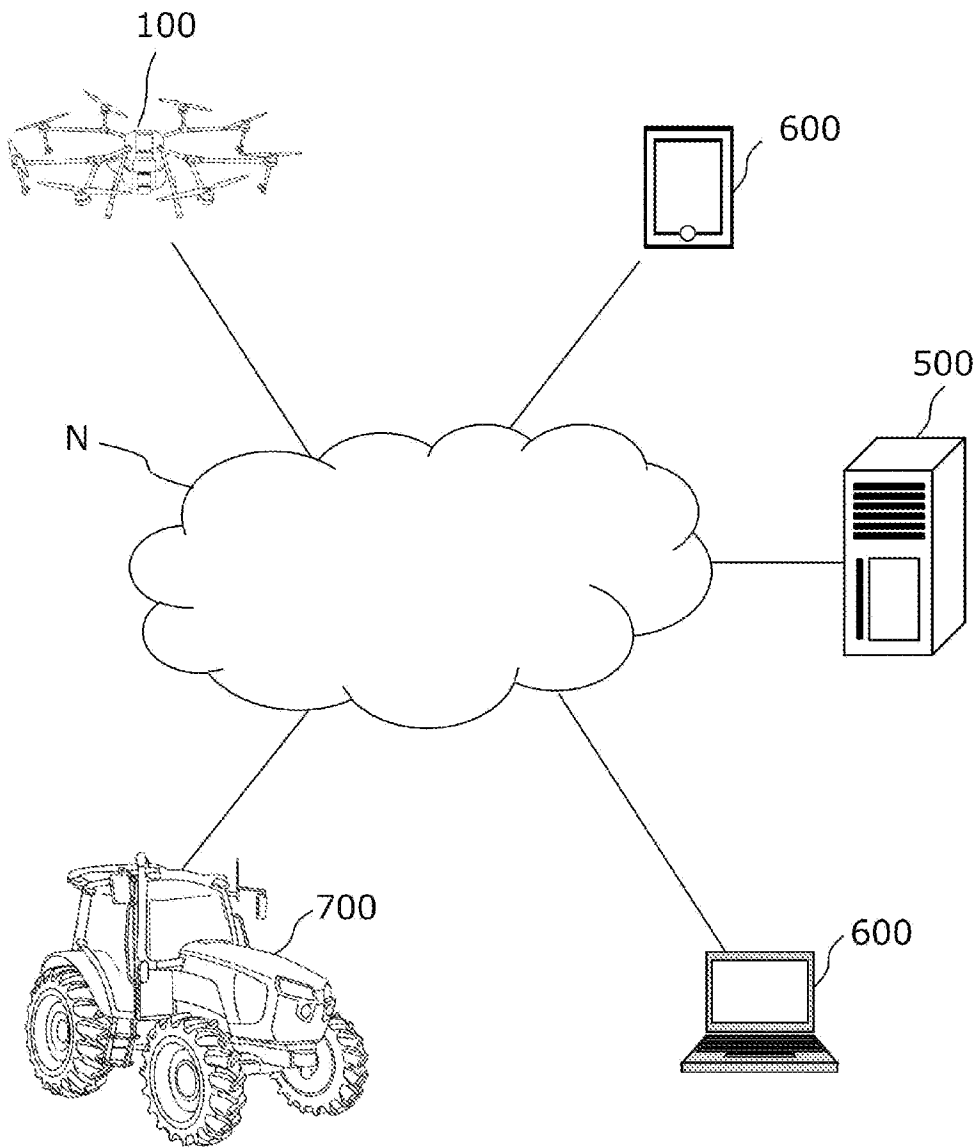
[図16]



[図17]



[図18]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2022/048186

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER		
<i>B64U 10/16</i> (2023.01)j; <i>B64U 101/40</i> (2023.01)n FI: B64U10/16; B64U101:40		
According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC		
B. FIELDS SEARCHED		
Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols) B64U10/16; B64U101/40		
Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched Published examined utility model applications of Japan 1922-1996 Published unexamined utility model applications of Japan 1971-2023 Registered utility model specifications of Japan 1996-2023 Published registered utility model applications of Japan 1994-2023		
Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)		
C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	JP 6954708 B1 (ISHIKAWA ENERGY RES CO LTD) 27 October 2021 (2021-10-27) paragraphs [0023], [0029], [0051]-[0059], [0070], fig. 1-3	1-17
Y	JP 2020-90237 A (PRODRONE CO LTD) 11 June 2020 (2020-06-11) fig. 8-10	1-17
Y	JP 7004369 B1 (ISHIKAWA ENERGY RES CO LTD) 21 January 2022 (2022-01-21) fig. 1-2	15
A	JP 2019-64581 A (PRODRONE CO LTD) 25 April 2019 (2019-04-25) fig. 3-8	1-17
<input type="checkbox"/> Further documents are listed in the continuation of Box C. <input checked="" type="checkbox"/> See patent family annex.		
* Special categories of cited documents: "A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance "E" earlier application or patent but published on or after the international filing date "L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified) "O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means "P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed "T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention "X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone "Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art "&" document member of the same patent family		
Date of the actual completion of the international search 14 March 2023		Date of mailing of the international search report 20 March 2023
Name and mailing address of the ISA/JP Japan Patent Office (ISA/JP) 3-4-3 Kasumigaseki, Chiyoda-ku, Tokyo 100-8915 Japan		Authorized officer Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.

PCT/JP2022/048186

Patent document cited in search report	Publication date (day/month/year)	Patent family member(s)	Publication date (day/month/year)
JP 6954708 B1	27 October 2021	(Family: none)	
JP 2020-90237 A	11 June 2020	US 2021/0024207 A1 fig. 8-10	
JP 7004369 B1	21 January 2022	(Family: none)	
JP 2019-64581 A	25 April 2019	(Family: none)	

A. 発明の属する分野の分類（国際特許分類（IPC）） B64U 10/16(2023.01)i; B64U 101/40(2023.01)n FI: B64U10/16; B64U101:40		
B. 調査を行った分野 調査を行った最小限資料（国際特許分類（IPC）） B64U10/16; B64U101/40 最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの 日本国実用新案公報 1922 - 1996年 日本国公開実用新案公報 1971 - 2023年 日本国実用新案登録公報 1996 - 2023年 日本国登録実用新案公報 1994 - 2023年		
国際調査で使用した電子データベース（データベースの名称、調査に使用した用語）		
C. 関連すると認められる文献		
引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求項の番号
Y	JP 6954708 B1 (株式会社石川エネルギーリサーチ) 27.10.2021 (2021 - 10 - 27) 段落 [0023]、[0029]、[0051] - [0059]、[0070]、図1-3	1-17
Y	JP 2020-90237 A (株式会社プロドローン) 11.06.2020 (2020 - 06 - 11) 図8-10	1-17
Y	JP 7004369 B1 (株式会社石川エネルギーリサーチ) 21.01.2022 (2022 - 01 - 21) 図1-2	15
A	JP 2019-64581 A (株式会社プロドローン) 25.04.2019 (2019 - 04 - 25) 図3-8	1-17
<input type="checkbox"/> C欄の続きにも文献が列挙されている。 <input checked="" type="checkbox"/> パテントファミリーに関する別紙を参照。		
* 引用文献のカテゴリー “A” 特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの “E” 国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの “L” 優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献（理由を付す） “O” 口頭による開示、使用、展示等に言及する文献 “P” 国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願の日の後に公表された文献 “T” 国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と抵触するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの “X” 特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの “Y” 特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの “&” 同一パテントファミリー文献		
国際調査を完了した日 14.03.2023	国際調査報告の発送日 20.03.2023	
名称及びあて先 日本国特許庁(ISA/JP) 〒100-8915 日本国 東京都千代田区霞が関三丁目4番3号	権限のある職員（特許庁審査官） 塚本 英隆 3D 3331 電話番号 03-3581-1101 内線 3341	

国際調査報告
特許ファミリーに関する情報

国際出願番号

PCT/JP2022/048186

引用文献	公表日	特許ファミリー文献	公表日
JP 6954708 B1	27.10.2021	(ファミリーなし)	
JP 2020-90237 A	11.06.2020	US 2021/0024207 A1 FIG. 8-10	
JP 7004369 B1	21.01.2022	(ファミリーなし)	
JP 2019-64581 A	25.04.2019	(ファミリーなし)	