

SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA,
UG, US, UZ, VC, VN, 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, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, 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, 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).

規則4.17に規定する申立て:

- 一 不利にならない開示又は新規性喪失の例外に関する申立て (規則4.17(v))

添付公開書類:

- 一 国際調査報告 (条約第21条(3))

(57) 要約: 航空機 (10) は、少なくともひとつのセンサ (58、60) と、高度アクチュエータ (22) と、メモリ装置 (42) と、電子的コントローラ (34) とを含む。少なくともひとつのセンサ (58、60) は、航空機 (10) の高度と航空機 (10) の現在位置と航空機 (10) の速度とを検出する。高度アクチュエータ (22) は、航空機 (10) の高度を変更する。メモリ装置 (42) は、区域の所定の地形データを保存する。電子的コントローラ (34) は、航空機 (10) の検出された現在位置と航空機 (10) の検出された速度とに基づいて、航空機 (10) の将来位置を推定する。電子的コントローラ (34) は、将来位置と航空機 (10) の検出された高度と所定の地形データとに基づいて高度アクチュエータ (22) を制御する。

明 細 書

発明の名称 : 航空機

技術分野

[0001] 本発明は、航空機の分野に関するものである。より具体的には、本発明は、地形追従機能を有する航空機の分野に関するものである。

背景技術

[0002] 近年、無人航空機技術の急速な開発により、無人航空機は、液剤散布、種まきなどを含む農業用途などの産業用途に幅広く用いられるようになってい

[0003] 農業用途において、無人航空機は、地面（作物）に対する目標高度を維持しつつ地面（作物）に対して飛行する必要がある。例えば、液剤散布の場合、無人航空機は、地面から3～5メートル（又は作物から2～3メートル）の上空を飛行することが好ましい。従来の航空機の自律飛行制御は、特開平11-231049号公報に開示されている。このような自律飛行制御では、航空機は、所定の飛行経路に追従するように制御される。加えて、無人航空機は、対地高度計を用いて対地高度を検出することにより地面に対する目標高度を維持するように制御されることもある。

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0004] このような無人航空機がブドウ畑などの起伏がある地面に対して所定の飛行経路に沿って飛行する場合、無人航空機が地面に対する目標高度を維持するためには、起伏がある地面に沿って多くのウェイポイントをそれらのウェイポイントにおける目標高度とともに準備する必要がある、ということが見いだされた。

[0005] 一方、対地高度計が用いられる場合には、対地高度計の距離データから、作物や地面の突起などの検出に起因する距離データの高周波成分のノイズを取り除くために、距離データを処理する必要がある。この処理は、無人航空

機の高度を検出する際の遅延を引き起こす。そのため、対地高度計の距離データに基づいて無人航空機の高度を遅延なく制御することは難しく、その結果、適切に無人飛行機を航行させるためには無人航空機の目標高度に十分な余裕が必要となる。そのため、対地高度計の距離データに基づいて無人航空機を制御し、起伏がある地面に対して様々な用途のために所望される目標高度で飛行させることは難しい。これらの理由により、対地高度計を用いた地形追従制御は、無人航空機が水田のようにほとんど起伏のない地面や緩やかな起伏の地面に対して飛行する場合や、無人航空機が地面から10メートル以上、例えば30メートル、の上空を飛行する場合にのみ用いられる。

[0006] 基本的に本願は、地形追従機能を有する航空機の様々な特徴に関するものである。

課題を解決するための手段

[0007] 本願のひとつの態様としての航空機は、少なくともひとつのセンサと、高度アクチュエータと、メモリ装置と、電子的コントローラとを含む。少なくともひとつのセンサは、航空機の高度と航空機の現在位置と航空機の速度とを検出する。高度アクチュエータは、航空機の高度を変更する。メモリ装置は、区域の所定の地形データを保存する。電子的コントローラは、航空機の検出された現在位置と航空機の検出された速度とに基づいて、航空機の将来位置を推定する。電子的コントローラは、将来位置と航空機の検出された高度と所定の地形データとに基づいて、高度アクチュエータを制御する。

[0008] 本願の航空機の特徴、態様及び利点は、様々な特徴を有する航空機についての実施形態及び添付の図面の記載によって、航空機製造に関わる分野の当業者に明らかにされる。

図面の簡単な説明

[0009] 出願当初の開示の一部を構成する添付の図面は、以下のものである。

[0010] 図1は、一実施形態に係る無人ヘリコプタの斜視図であり、地形追従制御の下でブドウ畑を飛行する無人ヘリコプタを示す。

[0011] 図2は、図1に示す無人ヘリコプタの斜視図を示す。

- [0012] 図3は、図1に示す無人ヘリコプタの飛行制御システムのブロック図を示す。
- [0013] 図4は、無人ヘリコプタの飛行区域の上面図であり、所定の飛行区域に設定された無人ヘリコプタの所定の飛行経路を示す。
- [0014] 図5は、無人ヘリコプタの所定の飛行区域の拡大斜視図であり、起伏した地面上に写像された所定の飛行経路を示す。
- [0015] 図6は、無人ヘリコプタの飛行制御システムにより実行される地形追従制御のフローチャートであり、地形追従制御の全体の処理を示す。
- [0016] 図7は、無人ヘリコプタの飛行制御システムにより実行される地形追従制御のフローチャートであり、無人ヘリコプタの将来位置の計算処理を示す。
- [0017] 図8は、地上局の表示部に表示された、無人ヘリコプタの飛行状態（将来位置）を表示する表示画像である。
- [0018] 図9は、所定の飛行区域のDEMデータの一例を示し、所定の飛行区域の2次元等高線グラフを示す。
- [0019] 図10は、無人ヘリコプタの飛行制御システムにより実行される地形追従制御を示す概略図である。
- [0020] 図11は、図1に示す無人ヘリコプタの飛行制御システムにより実行される地形追従制御を示す論理回路図であり、無人ヘリコプタの目標上下速度の計算処理を示す。
- [0021] 図12は、一実施形態に係る地形追従制御の制御結果を示すグラフである。
- [0022] 図13は、比較例に係る地形追従制御の制御結果を示すグラフである。
- [0023] 図14は、変形例に係る無人ヘリコプタの飛行制御システムの部分ブロック図である。
- [0024] これらの図面は、実施形態で用いられる方法、構造及び／又は材料の一般的な特徴を例示し、以下の記載を補足するように意図されているものである。しかしながら、これらの図面は、正確な縮尺ではなく、所与の実施形態の性能特性や正確な構造を正確に反映していないこともあるが、実施形態に包

含まれる特性や値の範囲を制限するものとして解釈されるべきではない。それぞれの図面では、同じ又は同様の符号を用いることにより、同じ又は同様の要素や特徴を有することを示す。

発明を実施するための形態

[0025] 図面を用いて選択された実施形態を説明する。この開示により当業者には明らかなように、以下の実施形態の記載は、単なる例示であって、添付の特許請求の範囲及びそれらの均等物によって定められる本発明を限定するものではない。図面において同様の符号は、同様の又は同じ要素又は特徴を示すので、後段の実施形態においては、同様の又は同じ要素又は特徴の説明は省略する。

[0026] まず図 1 を参照して、一実施形態に係る無人ヘリコプタ 10（航空機の一例）について説明する。図 1 に示すように、無人ヘリコプタ 10 は、所定の飛行区域 F A 内を地面 G D に対して飛行し、化学薬品、肥料及び種などの農業材料を作物に対して散布する。特に、無人ヘリコプタ 10 は、地面 G D の表面に対する無人ヘリコプタ 10 の高度を所定の目標高度 S z（目標高度の一例）に維持する地形追従制御（後述）を実行する地形追従機能を有する。本実施形態では、例えば、所定の目標高度 S z は、3メートルに設定される。しかしながら、所定の設定高度 S z は、必要及び／又は要望に応じて異なる値に設定されてもよい。本実施形態では、無人ヘリコプタ 10 は、農業用途に用いられる。しかしながら、無人ヘリコプタ 10 は、農業用途以外の産業用途に幅広く用いられてもよい。また本実施形態では、無人ヘリコプタ 10 は、航空機又は無人航空機（U A V）の一例である。しかしながら、もちろん本願の地形追従機能は、飛行機に設けられていてもよい。無人ヘリコプタ 10 は、基本的には、コックピットや窓がない点及びその寸法を除いては、有人ヘリコプタと類似した物理的構成を有する。また、無人ヘリコプタ 10 は、有人ヘリコプタとは異なる制御システムを有する。

[0027] 図 2 に示すように、無人ヘリコプタ 10 は、メインボディ 12 とテールボディ 14 とを有する。テールボディ 14 は、メインボディ 12 の後端に連結

されている。また、無人ヘリコプタ１０は、メインボディ１２の上部に回転可能に設けられたメインロータ１６と、テールボディ１４の後部に回転可能に設けられたテールロータ１８とを有する。本実施形態では、無人ヘリコプタ１０は、単一のメインロータを有する回転翼機である。しかしながら、無人ヘリコプタ１０は、２つ以上のメインロータを有する回転翼機であってもよい。

[0028] また、無人ヘリコプタ１０は、従来の物理的構成を有する。特に、無人ヘリコプタ１０は、内燃エンジン２０（以下、エンジン２０）、吸気システム、排気システム及び燃料タンクをメインボディ１２内に有する。また、無人ヘリコプタ２０は、複数（本実施形態では５つ）のサーボ２２（図３参照）を有し、そのうちの３つ（すなわち、エルロンサーボ、エレベータサーボ及びピッチサーボ）は、メインロータ１６のメインブレードのピッチ（角度）を変更するためにリンク機構を介してスウォッシュプレート（図示せず）に接続され、そのうちの１つ（すなわち、ラダーサーボ）は、テールロータ１８のテールブレードのピッチ（角度）を変更するためにリンク機構を介してテールロータ１８のテールブレードに接続され、そのうちの１つ（すなわち、スロットルサーボ）は、エンジン２０のスロットルを制御するためにリンク機構を介してエンジン２０に接続される。さらに、無人ヘリコプタ１０は、メインボディ１２の左右側部に支持脚を介して一对のスキッド２４を有する。また、本実施形態では、無人ヘリコプタ１０は、一对のカセット型液体タンク２６（少なくともひとつの農業散布タンクの一例）と、液体タンク２６に流体接続された一对の散布ノズル２８とを有する。液体タンク２６は、化学薬品や肥料などの、作物のための農業材料を保持する。散布ノズル２８は、農業材料を散布する。もちろん、液体タンク２６や散布ノズル２８の代わりに、無人ヘリコプタ１９は、種まきのための粒剤散布装置など農業用途の他の装置を有していてもよいし、様々なセンサや検出器などの産業用途の他の装置を有していてもよい。また、本実施形態では、無人ヘリコプタ１０は、エンジン２０を有する。もちろん、エンジン２０の代わりに、無人ヘリ

コプタ１０は、電気モータなどの他の種類の原動機を有していてもよい。また、無人ヘリコプタ１０は、様々な従来部品を有していてもよい。無人ヘリコプタ１０のこれらの物理的構成は比較的従来から知られたものであるので、説明の簡略化のため詳細な説明は行わない。以上のように、本実施形態では、無人ヘリコプタ１０は、無人ヘリコプタ１０の高度を変更するように構成されるサーボ２２（例えば、エルロンサーボ、エレベータサーボ、ピッチサーボ及びスロットルサーボ）を有する。

[0029] ここで図３を参照して、無人ヘリコプタ１０の飛行制御システム３０について説明する。具体的に、飛行制御システム３０は、複数のセンサ３２と、アッププロセッサ３４（電子的コントローラの一例）と、ロウアプロセッサ３６（電子的コントローラの一例）と、無線受信機３８（無線通信装置の一例）と、データ通信機４０と、コンピュータメモリ４２（データ格納装置又はメモリ装置の一例）とを有する。本実施形態では、飛行制御システム３０の各部は、従来法によりメインボディ１２又はテールボディ１４に設けられている。

[0030] 本実施形態では、無人ヘリコプタ１０は、手動遠隔制御又は自律制御を用いて飛行できる。具体的に、手動遠隔制御では、受信機３８は、オペレータにより操作されるリモコン又は無線送信機（図示せず）からの無線信号（手動制御コマンド信号の一例）を受信し、無線信号に応じてロウアプロセッサ３６を介してサーボ２２に制御信号を出力する。無人ヘリコプタ１０の手動遠隔制御は比較的従来から知られたものであるので、詳細な説明は行わない。自律制御では、アッププロセッサ３４は、センサ３２からのセンサデータと、地上局（図示せず）と無線通信するデータ通信機４０からの入力データとを取得する。アッププロセッサ３４は、予め定められた制御プログラムに従ってデータを処理し、ロウアプロセッサ３６を介してサーボ２２に制御信号を出力する。ロウアプロセッサ３６は、リモコン上で行われる手動選択やリモコンと無線受信機３８との間の無線受信状態などに従って、手動遠隔制御と自律制御との間で無人ヘリコプタ１０の制御モードを選択す

る。

[0031] 本実施形態では、自律制御において、無人ヘリコプタ 10 は、地面 GD に対する無人ヘリコプタ 10 の高度を所定の目標高度 S_z に維持しつつ、所定の飛行経路 FP (図 4 参照) に沿って地面 GD の上空を飛行する (すなわち、地形追従制御)。具体的に、図 4 は、無人ヘリコプタ 10 の所定の飛行区域 FA の上面図を示す。無人ヘリコプタ 10 の所定の飛行経路 FP は、無人ヘリコプタ 10 が所定の飛行区域 FA 内の作物の上空を全体的に飛行できるように、所定の飛行区域 FA に設定される。より具体的に、本実施形態では、図 5 に示すように、所定の飛行経路 FP (点線及び部分的に実線で示される) は、所定の飛行区域 FA 内の作物上の各パスの端部にのみ設定される複数のウェイポイント WP を有する。特に本実施形態では、所定の飛行経路 FP は、始点 SP 1 から終点 EP 1 までの作物上のパスに対して、始点 SP 1 と終点 EP 1 とをウェイポイント WP として有し、始点 SP 1 と終点 EP 1 との間にはウェイポイントを有さない。無人ヘリコプタ 10 が終点 EP 1 に到着すると、無人ヘリコプタ 10 は、自動的に始点 SP 2 に飛行し、その後、作物上の他のパスに対して、始点 SP 2 と終点 EP 2 との間のウェイポイントなしに、終点 EP 2 に向かって自動的に飛行する。そのため、本実施形態では、アッププロセッサ 34 (電子的コントローラの一例) は、所定の飛行区域 FA の起伏した表面 (区域の起伏がある地形の一例) に対して所定の目標高度 S_z を維持するように構成される。また、本実施形態では、アッププロセッサ 34 (電子的コントローラの一例) は、所定の飛行区域 FA の作物上の各パスに対して、始点 SP 1 (SP 2) と終点 EP 1 (EP 2) とを有する無人ヘリコプタ 10 の飛行を制御するように構成されており、飛行経路 FP (飛行経路の一例) は、始点 SP 1 (SP 2) と終点 EP 1 (EP 2) との間にはウェイポイントを有さない。飛行経路 FP は、従来法により、地面 GD に対して手動又は自動的に設定されてもよい。

[0032] 図 3 に示すように、センサ 32 は、姿勢センサ 52 と、方位センサ 54 と、エンジン回転センサ 56 と、RTK (リアルタイムキネマティック) GP

Sセンサ58と、シングルGPSセンサ60と、気圧計62とを有する。姿勢センサ52は、3軸ジャイロスコープ52Aと、3軸加速度計52Bと、姿勢プロセッサ52Cとを有する。ジャイロスコープ52Aは、無人ヘリコプタ10のX軸、Y軸及びZ軸周りの回転（角速度）を検出する。加速度計52Bは、XYZ軸沿いの加速度を検出する。本実施形態では、無人ヘリコプタ10のX軸は、無人ヘリコプタ10の前後軸（又はロール軸）であり、無人ヘリコプタ10の長手方向中心線に沿って延びる。無人ヘリコプタ10のY軸は、無人ヘリコプタ10の左右軸（又はピッチ軸）であり、X軸に直交して横方向に延びる。無人ヘリコプタ10のZ軸は、無人ヘリコプタの上下軸（又はヨー軸）であり、XY軸に直交して延びる。姿勢プロセッサ52Cは、ジャイロスコープ52A及び加速度計52Bからデータを取得し、無人ヘリコプタの姿勢を示す姿勢データを出力するようにデータを処理する。方位センサ54は、3軸磁力計54Aと、方位プロセッサ54Bとを有する。磁力計54Aは、XYZ軸沿いの地磁気を検出する。方位プロセッサ54Bは、磁力計54A及び姿勢センサ52からデータを取得し、無人ヘリコプタ10の方位を示す方位データを出力するようにデータを処理する。RTKGPSセンサ58は、衛星からの衛星信号とデータ通信機40を介して地上局からの補正データとを受信し、無人ヘリコプタ10の位置（例えば、緯度又は北位置 P_n 、経度又は東位置 P_e 及び基準楕円体に対する高度 P_z ）及び速度（例えば、北方向速度 V_n （北速度 V_n ）及び東方向速度 V_e （東速度 V_e ））を含むGPSデータを出力する。シングルGPSセンサ60は、衛星からの衛星信号を受信し、無人ヘリコプタ10の位置及び速度を含むGPSデータを出力する。気圧計62は、大気圧及び温度を検出する。センサ32の構成は比較的従来から知られたものであるため、詳細についての説明は行わない。本実施形態では、センサ32は、無人ヘリコプタ10の位置及び速度を検出するためにRTKGPSセンサ58及びシングルGPSセンサ60を有する。しかしながら、センサ32は、無人ヘリコプタ10の位置及び速度を検出するために他の種類のセンサを有してもよい。例えば、位置デ

ータは、GLONASS、Galileo、BeiDouなどのようなGPS以外の衛星測位システム（全地球航法衛星システム：GNSS）より取得されてもよい。そのため、本実施形態では、無人ヘリコプタ10は、無人ヘリコプタの位置（現在位置及び高度の一例）及び無人ヘリコプタ10の速度を検出するRTKGPSセンサ58及びシングルGPSセンサ60（少なくともひとつのセンサの一例）を有する。RTKGPSセンサ58及び／又はシングルGPSセンサ60は、本願のGPSセンサの一例である。

[0033] 図3に示すように、アッププロセッサ34は、センシングモジュール70と、航行モジュール72と、操舵モジュール74と、制御モジュール76とを有する。アッププロセッサ34は、CPU（中央処理装置）などのプロセッサやマイクロコンピュータを含む。アッププロセッサ34は、無人ヘリコプタ10の各部を制御するようにプログラムされている。コンピュータメモリ42は、無人ヘリコプタ10の制御を行うプログラムなどの制御プログラムや処理結果を保存する。例えば、コンピュータメモリ42は、センサ32から取得したセンサデータや処理結果を保存する。そのため、アッププロセッサ34は、コンピュータメモリ42とつながっており、センサ32から取得したセンサデータやコンピュータメモリ42に保存された処理結果を読み出すとともに、コンピュータメモリ42に処理結果を保存する。本開示から当業者には明らかであるが、アッププロセッサ34の詳細な構造やアルゴリズムとしては、本願で述べる機能を実行するハードウェア及びソフトウェアのいずれの組み合わせを用いてもよい。さらに、アッププロセッサ34は、アッププロセッサ34の各モジュールに対応する複数のプロセッサを有していてもよい。

[0034] センシングモジュール70は、複数（図3では3つ）の状態推定フィルタ70A、70B及び70Cと、環境推定フィルタ70Dとを有する。状態推定フィルタ70A及び70Bは、それぞれGPSINS（慣性航法装置）を有する。状態推定フィルタ70A及び70Bは、RTKGPSセンサ58及びシングルGPSセンサ60からそれぞれ無人ヘリコプタ10の位置と速度

とを示すGPSデータを取得する。状態推定フィルタ70A及び70Bは、姿勢センサ52からの姿勢データ及び／又は方位センサ54からの方位データを用いて、それぞれRTKGPSセンサ58及びシングルGPSセンサ60からのGPSデータにおける遅延及び／又は誤差を補正し、無人ヘリコプタ10の位置及び速度を出力する。状態推定フィルタ70Cは、姿勢センサ52からの姿勢データ、気圧計62からの大気圧及び気温及び／又はデータ通信機40からの入力データを取得する。状態推定フィルタ70Cは、RTKGPSセンサ58やシングルGPSセンサ60からの無人ヘリコプタ10の位置や速度を自律制御に用いることができない場合に無人ヘリコプタ10の操作に必要なデータを出力する。環境推定フィルタ70Dは、制御モジュール76からの制御偏差（例えば、高度の偏差）と状態推定フィルタ70A又は70Bからの無人ヘリコプタ10の速度を取得し、航行モジュール72における航行目標計算や操舵モジュール74における偏流制御のための環境推定値として、無人ヘリコプタ10の対気速度を推定する。センシングモジュール70の構成は比較的従来から知られたものであるため、説明を簡略にするため詳細な説明は省略する。

- [0035] 航行モジュール72は、フィルタ選択モジュール72Aと、航行目標計算モジュール72Bと、地形追従モジュール72Cと、地形データ処理モジュール72Dとを有する。フィルタ選択モジュール72Aは、状態推定フィルタ70A、70B及び70Cのひとつの選択を示すデータ通信機40からの入力データや、状態推定フィルタ70A、70B及び70Cによる無人ヘリコプタ10の位置及び速度の精度に応じて、状態推定フィルタ70A、70B及び70Cのひとつを選択する。そして、フィルタ選択モジュール72Aは、姿勢センサ52、方位センサ54及びエンジン回転センサ56からそれぞれ得られる姿勢データ、方位データ及びエンジン回転数に加えて、状態推定フィルタ70A、70B及び70Cの選択されたひとつから得られる無人ヘリコプタ10の位置及び速度を、状態推定値として出力する。航行目標計算モジュール72Bは、データ通信機40からの入力データに基づいて無人

ヘリコプタ 10 の航行目標を計算する。具体的に、本実施形態では、データ通信機 40 からの入力データは、無人ヘリコプタ 10 の所定の飛行経路 F P に沿って設定されたウェイポイント W P の位置（緯度及び経度）と、地面 G D に対する無人ヘリコプタ 10 の所定の目標高度 S z とを含む。航行目標計算モジュール 72 B は、ウェイポイント W P の位置に基づいて無人ヘリコプタ 10 の目標位置（緯度又は北位置及び経度又は東位置）と目標速度（北速度及び東速度）とを計算し、目標位置及び目標速度を航行目標として出力する。航行目標計算モジュール 72 B によるこの航行目標の計算は、比較的従来から知られたものであるため、詳細な説明は行わない。

[0036] 地形追従モジュール 72 C は、地面 G D に対する無人ヘリコプタ 10 の高度を所定の目標高度 S z に維持するための目標速度（垂直方向目標速度（目標エレベーション速度又は目標上下速度 V z ））を計算する。具体的に、地形追従モジュール 72 C は、地形データ処理モジュール 72 D の計算結果に基づいて目標上下速度 V z を計算し、目標上下速度 V z を航行目標として操舵モジュール 74 に出力する。地形追従モジュール 72 C 及び地形データ処理モジュール 72 D の処理（すなわち地形追従制御）については後で詳細に説明する。

[0037] 操舵モジュール 74 は、航行目標計算モジュール 72 B と地形追従モジュール 72 C とから得られる航行目標と制御モジュール 76 から得られる制御偏差と環境推定フィルタ 70 D から得られる環境推定値とに基づいて無人ヘリコプタ 10 の操舵目標を計算する。具体的に、本実施形態では、操舵モジュール 74 は、操舵目標計算モジュール 74 A と偏流制御モジュール 74 B とを有する。操舵目標計算モジュール 74 A は、無人ヘリコプタ 10 が航行目標に滑らかに追従又は追随するように、無人ヘリコプタ 10 の目標姿勢、目標速度、目標位置及び目標エンジン回転数を生成する。偏流制御モジュール 74 B は、例えば、制御モジュール 76 から得られる制御偏差（例えば、高度の偏差）に基づいて、風の影響を補償するように操舵目標を補正する。この操舵モジュール 74 による操舵目標の計算は、比較的従来から知られた

ものであるため、詳細な説明は行わない。

[0038] 制御モジュール76は、制御量計算モジュール76Aと制御信号生成モジュール76Bとを有する。制御量計算モジュール76Aは、航行モジュール72から得られる状態推定値が操舵モジュール74から得られる操舵目標に近づくように、サーボ22の制御量を計算する。特に、本実施形態では、制御量計算モジュール76Aは、フィードバック制御を行い、例えばPIDコントローラとして動作する。制御信号生成モジュール76Bは、制御量計算モジュール76Aにより計算された制御量に応じて、サーボ22に与える制御信号を生成する。制御モジュール76の処理は、比較的従来から知られたものであるため、詳細な説明は行わない。

[0039] また、図3に示すように、センシングモジュール70、航行モジュール72、操舵モジュール74及び制御モジュール76は、地上局が無人ヘリコプタ10の状態を監視できるように、データ通信機40に対してそれぞれで計算されたデータを出力する。

[0040] ここで図3、6及び7を参照して、アッププロセッサ34（電子的コントローラの一例）により実行される地形追従制御について詳細に説明する。上述のように、地形追従制御では、無人ヘリコプタ10は、地面GDに対する無人ヘリコプタ10の高度を所定の目標高度Szに維持しつつ、所定の飛行経路FPに沿って地面GDの上空を飛行する。

[0041] 具体的には、図6を参照すれば、地形追従制御（航空機高度制御方法の一例）では、無人ヘリコプタ10の高度Pz、無人ヘリコプタ10の北位置Pn及び東位置Pe（現在位置の一例）及び無人ヘリコプタの北速度Vn及び東速度Ve（速度の一例）は、RTKGPSセンサ58及び／又はシングルGPSセンサ60によって検出される（ステップS10）。また、本実施形態では、ステップS10において、無人ヘリコプタ10の方位及び姿勢（例えば、ヨーレート Ω ）も検出される。

[0042] さらに、ステップS12では、地形データ処理モジュール72Dは、フィルタ選択モジュール72Aから得られる無人ヘリコプタ10の北位置Pn及

び東位置 P_e （検出された現在位置の一例）と北速度 V_n 及び東速度 V_e （検出された速度の一例）とに基づいて、無人ヘリコプタ 10 の将来位置を推定する。また、本実施形態では、地形データ処理モジュール 72D は、さらに無人ヘリコプタ 10 の方位（方向の一例）に基づいて、無人ヘリコプタ 10 の将来位置を推定する。特に、本実施形態では、地形データ処理モジュール 72D は、フィルタ選択モジュール 72A から得られる無人ヘリコプタ 10 の北位置 P_n 、東位置 P_e 、北速度 V_n 、東速度 V_e 及びヨーレート Ω に基づいて、1 秒後の将来位置、5 秒後の将来位置及び 10 秒後の将来位置を推定する。本実施形態では、 P_n は、無人ヘリコプタ 10 の現在北位置（すなわち 0 秒後の北位置）を表し、 $P_n(d t)$ は、 $d t$ 秒後の将来北位置を表す。同様に、 P_e は、無人ヘリコプタ 10 の現在東位置（すなわち 0 秒後の東位置）を表し、 $P_e(d t)$ は、 $d t$ 秒後の将来東位置を表す。

[0043] より具体的に、図 7 に示すように、アッププロセッサ 34（電子的コントローラの一例）の地形データ処理モジュール 72D は、まず無人ヘリコプタ 10 がホバリングしているかどうかを判断する（ステップ S20）。具体的に、地形データ処理モジュール 72D は、次の条件（1）が満たされるかどうかを判断する。

$$|V_e| < A \quad \text{かつ} \quad |V_n| < A \quad (1)$$

ここで、 V_e (m/s) は、東速度を表し、 V_n (m/s) は、北速度を表し、 A (m/s) は、閾値を示す。本実施形態では、閾値 A は、例えば、0.05 (m/s) に設定される。言い換えれば、地形データ処理モジュール 72D は、無人ヘリコプタ 10 の東速度 V_e 及び北速度 V_n が閾値 A により定義される範囲（正方形）内であるかどうかを判断する。もちろん、上述の条件（1）を用いる代わりに、無人ヘリコプタ 10 のホバリングは、無人ヘリコプタ 10 の速度ベクトルの大きさ（すなわち $\sqrt{V_e^2 + V_n^2}$ ）を用いて判断してもよい。具体的に、この場合、速度ベクトルの大きさが所定の閾値より小さいと地形データ処理モジュール 72D が判断した場合に、無人ヘリコプタ 10 がホバリングしていると判断できる。

[0044] 条件(1)が満たされる場合、地形データ処理モジュール72Dは、無人ヘリコプタ10がホバリングしていると判断する(ステップS20においてYES)。そして、地形データ処理モジュール72Dは、東速度 V_e と北速度 V_n とがゼロ($V_e=0$ 及び $V_n=0$)であると判断し、ステップS22において、 dt 秒後の将来位置($P_n(dt)$ 、 $P_e(dt)$)を次の数式(1)によって計算する。

$$P_n(dt) = P_n$$

$$P_e(dt) = P_e \quad (1)$$

[0045] 一方、条件(1)が満たされない場合、地形データ処理モジュール72Dは、無人ヘリコプタ10がホバリングしておらず、移動していると判断する(ステップS20においてNO)。そして、地形データ処理モジュール72Dは、さらに、無人ヘリコプタ10が旋回しているかどうかを判断する(ステップS24)。具体的には、地形データ処理モジュール72Dは、次の条件(11)が満たされるかどうかを判断する。

$$|\Omega| \geq B \quad (11)$$

ここで、 Ω (rad/s)は、ヨーレートを表し、 B (rad/s)は、閾値を表す。本実施形態では、閾値 B は、例えば、 $\pi/360$ (rad/s)($=0.5$ (deg/s))に設定される。

[0046] 条件(11)が満たされる場合、地形データ処理モジュール72Dは、無人ヘリコプタ10が旋回していると判断する(ステップS24においてYES)。そして、地形データ処理モジュール72Dは、ステップS26において、 dt 秒後の将来位置($P_n(dt)$ 、 $P_e(dt)$)を次の数式(2)によって計算する。

$$P_n(dt) = P_n + \Delta n$$

$$P_e(dt) = P_e + \Delta e \quad (2)$$

ここで、 Δn は、 dt 秒間の北への移動量を表し、 Δe は、 dt 秒間の東への移動量を表す。地形データ処理モジュール72Dは、移動量(Δn 、 Δe)を次のように計算する。

$$\Delta n = \Delta x \cdot \sin \phi + \Delta y \cdot \cos \phi$$

$$\Delta e = \Delta x \cdot \cos \phi - \Delta y \cdot \sin \phi$$

ここで、 Δx は、 dt 秒間のX軸沿いの移動量を表し、 Δy は、 dt 秒間のY軸沿いの移動量を表し、 ϕ (rad)は、無人ヘリコプタ10が移動する方向を表す（すなわち、地表に対する針路）。地形データ処理モジュール72Dは、移動量（ Δx 、 Δy ）及び方向 ϕ を次のように計算する。

$$\Delta x = R \sin \theta$$

$$\Delta y = R (1 - \cos \theta) \times \text{sign}(\text{turn})$$

$$\phi = \tan^{-1}(V_n / V_e)$$

ここで、 R (m)は、無人ヘリコプタ10の旋回半径を表し、 θ (rad)は、 dt 秒間の旋回量を表し、 $\text{sign}(\text{turn})$ は、旋回方向を表す。地形データ処理モジュール72Dは、旋回半径 R 及び旋回量 θ を次のように計算する。

$$R = V / |\Omega|, \text{ここで } V = \sqrt{V_e^2 + V_n^2}$$

$$\theta = \Omega \cdot dt$$

また、符号関数 $\text{sign}(\text{turn})$ は、無人ヘリコプタ10の旋回方向を表し、パラメータ“turn”は、次のように計算される。

$$\text{turn} = \text{sign}(\Omega)$$

[0047] 一方、条件(11)が満たされない場合、地形データ処理モジュール72Dは、無人ヘリコプタ10が旋回しておらず、直進していると判断する（ステップS24においてNO）。そして、地形データ処理モジュール72Dは、ステップS28において、 dt 秒後の将来位置（ $P_n(dt)$ 、 $P_e(dt)$ ）を次の数式(3)によって計算する。

$$P_n(dt) = P_n + \Delta n$$

$$P_e(dt) = P_e + \Delta e \quad (3)$$

ここで、移動量（ Δn 、 Δe ）は、次のように計算される。

$$\Delta n = V_n \cdot dt$$

$$\Delta e = V_e \cdot dt$$

[0048] 本実施形態では、地形データ処理モジュール72Dは、例えば、1秒後の将来位置($P_n(1)$ 、 $P_e(1)$)、5秒後の将来位置($P_n(5)$ 、 $P_e(5)$)及び10秒後の将来位置($P_n(10)$ 、 $P_e(10)$)を推定する。推定された将来位置は、地上局が無人ヘリコプタ10の状態を監視できるように、データ通信機40に出力される。図8は、地上局の表示部に表示される表示画像を示しており、表示画像では、無人ヘリコプタ10の推定された将来位置が所定の飛行経路FPに対して示されている。もちろん、地形データ処理モジュール72Dは、必要及び／又は要望に応じて、異なるタイミングにおける異なる将来位置をさらに推定してもよい。また、地形データ処理モジュール72Dは、上述した全ての将来位置を推定しなくてもよい。地形データ処理モジュール72Dは、例えば、1秒後の将来位置($P_n(1)$ 、 $P_e(1)$)のみを推定してもよい。

[0049] 図6にさらに示すように、ステップS14では、地形データ処理モジュール72Dは、将来位置における標高(所定の地形データの一例)を決定する。具体的に、本実施形態では、コンピュータメモリ42は、少なくとも所定の飛行区域FAに対して数値標高モデル(DEM)データ(所定の地形データの一例)を保存している。DEMデータは、予めマッピングされた3次元地形データであり、位置に関連付けて地表の標高(基準楕円体に対する高さ情報)を含む。より具体的に、本実施形態では、DEMデータは、例えば、1/30秒角(約1メートル)の解像度を有するHAE(楕円体高)データをそれぞれ有するデータセットを含む。図9は、所定の飛行区域FAのDEMデータの一例を示し、所定の飛行区域FAの2次元等高線グラフを示している。本実施形態では、地形データ処理モジュール72Dは、コンピュータメモリ42内のDEMデータ(DEMデータの対応する一部)を参照し、1秒後の将来位置($P_n(1)$ 、 $P_e(1)$)に対応する標高DEM(1)を取得する。また本実施形態では、地形データ処理モジュール72Dは、コンピュータメモリ42内のDEMデータ(DEMデータの対応する一部)を参照し、無人ヘリコプタ10の現在位置(P_n 、 P_e)に対応する標高DEM

(0)を取得する。本実施形態では、DEMデータは、本願の所定の地形データの一例である。しかしながら、地形データ処理モジュール72Dは、将来位置に対する標高を決定するために異なる種類の所定の地形データを用いてもよい。

[0050] 本実施形態では、DEMデータは、例えば、所定の飛行区域FAを含むスキャン区域の表面を航空機に設けたレーザ距離計などのレーザスキャナでスキャンすることによって事前に生成され、保存されている。本実施形態では、例えば、無人ヘリコプタを用いてスキャン区域の表面をスキャンする。無人ヘリコプタは、例えば、電波高度計を用いてスキャン区域の表面に対する高度を30メートルに維持しながら、30メートル間隔で配置されたウェイポイントに沿って移動するように制御される。このスキャン飛行では、無人ヘリコプタは、スキャン区域の表面に対する高度を維持する。そのため、レーザ距離計とスキャン区域の表面との距離を一定に保つことができ、スキャン区域が起伏のある地形であってもスキャン区域全体にわたってスキャン精度を向上させることができる。もちろん、このスキャン飛行に際して、無人ヘリコプタは、スキャン区域の表面に対する高度を30メートルとは異なる高度に維持してもよい。しかしながら、スキャン区域の表面に対する高度を30メートルに維持すれば、ヘリコプタのダウンウォッシュによる作物の揺れや砂塵の巻き上げがレーザ距離計によるスキャン区域の表面のスキャンに干渉することを防ぐことができる。さらに、スキャン飛行が完了すると、レーザ距離計から得られる距離データに対する後処理が実行される。具体的に、後処理では、無人ヘリコプタの姿勢や位置データが時系列的に距離データと統合され、ポイントクラウドデータ（地面リターンデータ）が得られる。ユーザは、手動でポイントクラウドデータを編集して、スキャン区域内の車両やヘリコプタのダウンウォッシュによる砂塵に起因する無効データを削除してもよい。ポイントクラウドデータは、さらに処理されDEMデータが生成される。具体的には、スキャン区域は、1メートルのセルサイズを有する複数のセルに分割され、それぞれのセルにポイントクラウドデータが分配さ

れる。それぞれのセルは、さらに16個のサブセル（4行4列）に分割されている。サブセルにおいて最も低いグラウンドポジションを示すポイントがそれぞれ選択され、選択されたポイントの中央値がセルのグラウンドポジション（標高）として計算される。これにより、スキャン区域の作物からのリターンや特異なリターンである可能性のある高いポイントを除去することができる。そして、セルのグラウンドポジション（標高）は、DEMデータとして保存される。DEMデータの生成は、比較的従来から知られたものであるため、詳細な説明は行わない。距離データのフィルタリングや解像度の調整によって、必要及び／又は要望に応じてDEMデータの滑らかさを調整することができる。もちろん、公に利用可能なDEMデータを用いて無人ヘリコプタ10の地形追従制御を行ってもよい。特に、生成したDEMデータには、空白データ領域が発生する場合がある。そのため、生成されたDEMデータと、通常は生成されたDEMデータよりも粗いデータである公に利用可能なDEMデータとを組み合わせてもよい。この処理により、空白データ領域のないDEMデータを生成することができる。また、地面GDの表面の起伏が比較的緩やかな場合には、公に利用可能な測量結果を用いてDEMデータを生成してもよい。

[0051] 図6にさらに示すように、ステップS16では、地形追従モジュール72Cは、DEMデータからの標高と無人ヘリコプタ10の高度 P_z とに基づいて、無人ヘリコプタ10の目標上下速度 V_z を計算する。より具体的には、図10及び11に示すように、地形追従モジュール72Cは、将来位置（ $P_n(1)$ 、 $P_e(1)$ ）における標高DEM(1)（所定の地形データの一例）と高度 P_z （検出された高度の一例）との差分を計算する。具体的には、図11の論理回路に示すように、地形追従モジュール72Cは、高度 P_z から標高DEM(1)を減算し、高度値 Q_z （例えば、DEM高度）を得る（オペレーションLC1）。さらに、地形追従モジュール72Cは、高度値 Q_z と所定の目標高度 S_z との差分を計算する。具体的には、地形追従モジュール72Cは、高度値 Q_z から所定の目標高度 S_z を減算し、所定の目標

高度 S_z に対する高度偏差 D_z を得る（オペレーション $LC2$ ）。地形追従モジュール $72C$ は、さらに、高度偏差 D_z に所定ゲイン K_p を乗じ、目標上下速度 V_z を得る（オペレーション $LC3$ ）。本実施形態では、図 10 に示すように、高度値 Q_z が所定の目標高度 S_z よりも大きい場合、目標上下速度 V_z は、無人ヘリコプタ 10 を下降させるように負の値を有する。一方、高度値 Q_z が所定の目標高度 S_z よりも小さい場合、目標上下速度 V_z は、無人ヘリコプタ 10 を上昇させるように正の値を有する。

[0052] オプションとして、図 11 の論理回路に示すように、本実施形態では、図 6 のステップ $S16$ において、地形追従モジュール $72C$ は、将来位置（ $P_n(1)$ 、 $P_e(1)$ ）における標高 $DEM(1)$ と位置（ P_n 、 P_e ）における標高 $DEM(0)$ との差分を計算する。具体的に、地形追従モジュール $72C$ は、標高 $DEM(1)$ から標高 $DEM(0)$ を減算し、スロープ値 S_v を得る（オペレーション $LC4$ ）。地形追従モジュール $72C$ は、さらに、スロープ値 S_v に所定ゲイン K_s を乗じ、目標上下速度 V_z を得る（オペレーション $LC3$ ）。具体的に、この場合、オペレーション $LC3$ では、地形追従モジュール $72C$ は、ゲイン K_s が乗じられたスロープ値 S_v からゲイン K_p が乗じられた高度偏差 D_z を減算し、目標上下速度 V_z を得る。しかしながら、これらのオペレーション $LC4$ 及び $LC3$ は、上述のようにオプションであるため、実行されなくてもよい。一方、これらのオペレーション $LC4$ 及び $LC3$ が実行される場合、ゲイン K_s は、例えばゲイン K_p の $1/10$ など、ゲイン K_p に対して小さく設定してもよい。本実施形態では、1秒後の将来位置（ $P_n(1)$ 、 $P_e(1)$ ）における標高 $DEM(1)$ を用いて目標上下速度 V_z を計算している。しかしながら、必要及び／又は要望に応じて、異なるタイミングの異なる将来位置に対する標高を用いて目標上下速度 V_z を計算してもよい。

[0053] 上述のように、地形追従モジュール $72C$ は、航行目標の一部として、目標上下速度 V_z を操舵モジュール 74 に出力する。図 6 にさらに示すように、ステップ $S18$ では、操舵モジュール 74 は、航行モジュール 72 からの

航行目標に基づいて、操舵目標を生成し、制御モジュール 76 は、航行目標の目標上下速度 V_z を達成するようにサーボ 22 を制御する。そのため、本実施形態では、無人ヘリコプタ 10 の高度は、将来位置 ($P_n(1)$ 、 $P_e(1)$)、高度 P_z (検出された高度の一例) 及び所定の飛行区域 F_A の DEM データ (所定の地形データの一例) に基づいて制御される。また、本実施形態では、制御モジュール 76 は、高度 P_z (検出された高度の一例) と将来位置 ($P_n(1)$ 、 $P_e(1)$) における標高 DEM (1) (所定の地形データの一例) との差分に基づいて、サーボ 22 (高度アクチュエータの一例) を制御する。

[0054] 図 12 は、所定の飛行区域 F_A を飛行した場合の本願の地形追従制御の制御結果を示し、図 13 は、同じ飛行区域 F_A を飛行した場合の比較例の地形追従制御の制御結果を示す。比較例では、図 11 に示す論理回路図に従って目標上下速度 V_z を計算する際に、標高 DEM (1) に代えて、現在位置 (P_n 、 P_e) における標高 DEM (0) が用いられる。

[0055] 図 12 は、地面 G_D に対する無人ヘリコプタ 10 の高度、高度 P_z 及び目標上下速度 V_z を示す。図 12 に示すように、地面 G_D に対する無人ヘリコプタ 10 の高度は、3.0 メートルの所定の目標高度 S_z に対して、 ± 0.5 メートルの範囲内に維持されている。一方、図 13 に示すように、地面 G_D に対する高度は、3.0 メートルの所定の目標高度 S_z に対して大きく変動している (± 1.5 メートルの範囲)。特に、図 13 に示すように、地面 G_D に対する高度は、上昇中には所定の目標高度 S_z よりも低くなり、下降中には所定の目標高度 S_z よりも高くなる。そのため、比較例では、地面 G_D に対する高度は、3.0 メートルの所定の目標高度 S_z に対して常にずれている。

[0056] 本実施形態では、無人ヘリコプタ 10 の将来位置が、無人ヘリコプタ 10 のセンシング結果 (例えば、位置、速度及び方位) に基づいて計算され、将来位置における標高が、地形追従制御に用いられる。将来位置及び将来位置における標高を用いることにより、無人ヘリコプタ 10 の急な制御が必要な

くなる。また、無人ヘリコプタ 10 は地面 G D の地形に十分に追従することができるため、所定の目標高度 S_z に追加の余裕を設ける必要がなくなる。また、図 7 に示すように、旋回中であっても無人ヘリコプタ 10 の将来位置を計算することができる。

[0057] 本実施形態では、地形追従制御のために多くのウェイポイントを準備する必要がない。具体的に、本実施形態では、図 5 に示すように、各パスに対して、始点 $SP1$ ($SP2$) 及び終点 $EP1$ ($EP2$) を示す一对のウェイポイント WP を設けるだけでよい。また、本実施形態では、それぞれのウェイポイント WP は、3次元情報を有する必要がなく、2次元情報（すなわち、経度及び緯度）を有するだけでよい。さらに、本実施形態では、始点 $SP1$ ($SP2$) と終点 $EP1$ ($EP2$) との間に、高度情報を有するウェイポイントを準備する必要がない。

[0058] 本実施形態では、地形追従制御は、対地高度計や距離計を用いずにアッププロセッサ 34（電子的コントローラの一例）により行われる。そのため、本実施形態では、地形追従制御は、所定の目標高度 S_z が対地高度計や距離計の測定範囲外である場合にも行うことができる。また、対地高度計や距離計が地形追従制御に用いられる場合には、将来位置や将来位置における標高は得られない。また、距離データのノイズ除去を行う必要がある。そのため、対地高度計や距離計を用いた地形追従制御では遅延が大きくなりうる。また、デッドバンドが設定される必要のある場合には、制御結果はさらに悪くなりうる。一方、本実施形態では、地形追従制御は、対地高度計や距離計を用いずに行うことができる。そのため、地形追従制御における制御結果や応答が良くなる。

[0059] 本実施形態では、図 3 に示すように、無人ヘリコプタ 10 の所定の飛行経路 FP は、例えば、データ通信機 40 を介して地上局から航行モジュール 72 に与えられる。しかしながら、地形追従制御は、所定の飛行経路 FP を用いずに行ってもよい。所定の飛行経路 FP を用いる代わりに、航行モジュール 72 の航行目標計算モジュール 72B は、ユーザのリモコン操作に応じて

受信機 38 から得られる制御信号に基づいて、航行目標（目標位置（北位置及び東位置）及び目標速度（北速度及び東速度））を生成してもよい。この場合、無人ヘリコプタ 10 は、地形追従制御に従って地面 GD に対する所定の目標高度を維持しつつ、水平方向にはユーザの操作（例えば、リモコンのコントロールスティックを用いた水平速度制御）に応じて操縦される。

[0060] 本実施形態では、操舵モジュール 74 は、航行目標に滑らかに追従するように、航行目標に基づいて操舵目標を生成する。言い換えれば、無人ヘリコプタ 10 の滑らかな挙動を実現するために、操舵モジュール 74 は、航行モジュール 72 により生成された大まかな上位目標（航行目標）に追従するための滑らかな下位目標（操舵目標）を生成し、制御モジュール 76 は、この滑らかな下位目標に追従するようにサーボ 22 を制御する。そのため、基本的には、無人ヘリコプタ 10 は、上位目標に対して遅れて追従することになる。しかしながら、航行目標は、将来位置と将来位置における高度を用いて生成されているので、この遅れを補償することができる。

[0061] 本実施形態では、図 3 に示すように、無人ヘリコプタ 10 は、対地高度計を有さない。しかしながら、図 14 に示すように、無人ヘリコプタ 10 の飛行制御システム 30 は、追加的に対地高度計 80（対地高度検出器の一例）を有していてもよい。本実施形態では、対地高度計 80 は、レーダー及びライダーの少なくともひとつを用いて、地面 GD に対する無人ヘリコプタ 10 の高度を検出する。図 14 に示すように、対地高度計 80 は、検出された高度をセンシングモジュール 70（例えば、状態推定フィルタ 70C）に出力する。この構成により、DEM データ又は GPS データが利用できなくなった場合にも、無人ヘリコプタ 10 は、対地高度計 80 を用いて適切に航行できる。例えば、コンピュータメモリ 42 に保存された DEM データが地面 GD の実際の地形と一致しない場合、DEM データがコンピュータメモリ 42 から読み出せない場合（すなわち、DEM データやコンピュータメモリ 42 が損傷している場合）、又は DEM データが準備された区域外を無人ヘリコプタ 10 が飛行している場合などに、飛行制御システム 30 は、DEM デー

タが利用できなくなったと判断する。また、RTKGPSセンサ58やシングルGPSセンサ60からのGPSデータの精度が低くなり、高度値 Q_z （DEM高度）の精度が確保できない場合、飛行制御システム30は、GPSデータが利用できなくなったと判断する。この場合、データ通信機40は、ダウンリンクを用いて、地上局のオペレータに無人ヘリコプタ10の状況を通知し、飛行制御システム30は、以下のように無人ヘリコプタ10の飛行を制御する。

[0062] 無人ヘリコプタ10が地形追従制御の下で飛行している時（すなわち通常運用中）に、DEMデータ又はGPSデータが利用できなくなった場合、アッププロセッサ34は、対地高度計80が利用できるかどうかを判断する。対地高度計80が利用できる場合、飛行制御システム30は、（i）無人ヘリコプタ10の制御モードを対地高度計80を用いた地形追従制御に切り替え、所定の目標高度 S_z を所定量（例えば、5メートルの追加的な余裕）だけ増加させるとともに、（ii）プログラム飛行（すなわち自律制御）を停止する。一方、対地高度計が利用できない場合、飛行制御システム30は、（i）所定の速度で所定の時間上昇する（例えば、 1 m/s で3秒間上昇する）ように無人ヘリコプタ10を制御するとともに、（ii）プログラム飛行（すなわち自律制御）を停止する。

[0063] 一方、無人ヘリコプタ10がプログラム飛行を停止できないリンクロス処置中に自動帰還制御の下で飛行している時に、DEMデータ又はGPSデータが利用できなくなった場合、アッププロセッサ34は、対地高度計80が利用できるかどうかを判断する。対地高度計80が利用できる場合、飛行制御システム30は、（i）無人ヘリコプタ10の制御モードを対地高度計80を用いた地形追従制御に切り替え、所定の目標高度 S_z を所定量（例えば、通常運用中の追加的な余裕よりも大きい自動帰還制御用の追加的な余裕）だけ増加させるとともに、（ii）自動帰還制御を続行する。一方、対地高度計が利用できない場合、飛行制御システム30は、（i）所定の速度で所定の時間上昇する（例えば、 1 m/s で3秒間上昇する）ように無人ヘリ

コプタ 10 を制御するとともに、(i i) 自動帰還制御を停止し、(i i i) 所定の飛行区域 F A に応じてオペレータが予め設定した所定の高度まで上昇した後に、自動帰還制御を再始動する。これにより、本実施形態では、リンクロス処置中に自動帰還制御を実行している場合にも地形追従制御を行うことができる。

[0064] 本実施形態では、所定の目標高度 S_z は、予め設定されている。しかしながら、所定の目標高度 S_z は、GPS データの精度に応じて変更されてもよい。DEM データを用いた地形追従制御では、GPS データの精度が、地形追従制御における高度値 Q_z (DEM 高度) の精度に大きく影響する。無人ヘリコプタ 10 が地形追従制御中に低い高度で飛行している場合、GPS データにはより高い精度が要求される。そのため、本実施形態では、RTK リンクロスが発生し GPS データ (RTK GPS センサ 58 からの GPS データ) の精度が低下した場合、DEM データを用いた地形追従制御を停止してもよい。一方、所定の目標高度 S_z が高い高度 (例えば、対地高度計の測定範囲を超える 50 メートル以上など) に設定されている場合には、GPS データの精度が低下しても DEM データを用いた地形追従制御を実行してもよい。このように、DEM データを用いた地形追従制御では、所定の目標高度 S_z は、GPS データの精度に応じて制限又は変更されてもよい。

[0065] 本発明の範囲の理解において、ここで用いられる用語「備える」及びその派生語は、記載された特徴、エレメント、構成、群、構成要素、及び／又はステップがあることを明記するオープンエンドの用語であり、記載されていない特徴、エレメント、構成、群、構成要素、及び／又はステップがあることを排除するものではない。上記は、用語「有する」、「含む」及びそれらの派生語など同様の意味を持つ語にも当てはまる。また、単数形的に用いられる用語「パート」、「部分」、「部」、「部材」又は「エレメント」は、単一のパート又は複数のパーツの 2 つの意味を持ちうる。また、別に定義の無い限り、ここで用いられる (技術的及び科学的用語を含む) 全ての用語は、発明の実施形態が属する分野の当業者により一般的に理解されるのと同じ

意味を有する。また当然ながら、一般的に用いられる辞書に定義される用語を含め、用語は、関連分野の文脈における意味と一貫性のある意味を持つとして解釈され、別途定義しない限り、理想的又は過度に形式的な意味に解釈されるべきではない。

[0066] また、当然ながら、エレメントが別のエレメントと「接続」又は「結合」されているという時、それらのエレメントは直接的に接続又は結合されていてもよいし、間に介在するエレメントがあってもよい。一方、エレメントが別のエレメントと「直接接続」又は「直接結合」されているという時には、間に介在するエレメントはない。ここで用いられる用語「及び／又は」は、関連付けて列挙された項目の一つ以上のいずれの組み合わせも含む。さらに、エレメントやレイヤの間の関係を記載するのに用いられる同様の用語も同様に解釈されるべきである（例えば、「～の間に」と「直接的に～の間に」、「～の上方に」と「～の直接上方に」、「～の下方に」と「～の直接下方に」、「～に隣り合う」と「～に直接隣り合う」、「～の上に」と「直接～の上に」、など）。そのため、お互いに直接的に接続され接触されるように図示された部材も、別途明示しない限り、それらの間に配置される中間構造を有していてもよい。

[0067] またここでは、「前方」、「後方」、「上」、「下」、「真下」、「下方」、「垂直」、「水平」及び「横」などの空間的に相対的な用語は、その他の同様の空間的な用語と同様に、上述の実施形態のひとつのエレメント又は特徴と他のエレメント又は特徴との関係を簡便に記載するのに用いられている。これらの用語が本発明を記載するのに用いられる場合には、水平面上の無人ヘリコプタに対する関係を示すものとして理解される。

[0068] 本発明の説明のためにいくつかの実施形態が選択されたが、添付の特許請求の範囲に記載された本発明の範囲を逸脱することがない範囲で、種々の変更、変形ができる。一つの実施形態の構造や機能は、他の実施形態にも適用可能である。また、全ての利点が同時に特定の実施形態に存在する必要はない。先行技術から区別されるそれぞれの特徴は、それ単独として又は別の特

徴と組み合わせて、それらの特徴により実現される構造的及び／又は機能的な思想を含めて、出願人のさらなる発明の別の記載であると考えられる。そのため、上述の本発明の実施形態の記載は、単なる例示のためであり、添付の特許請求の範囲やその均等物によって決まる発明を限定するものではない。

請求の範囲

- [請求項1] 航空機の高度と前記航空機の現在位置と前記航空機の速度とを検出するように構成された少なくともひとつのセンサと、
 前記航空機の高度を変更するように構成された高度アクチュエータと、
 区域の所定の地形データを保存するように構成されたメモリ装置と、
 、
 前記航空機の検出された現在位置と前記航空機の検出された速度とに基づいて、前記航空機の将来位置を推定するように構成された電子的コントローラと、
 を備え、
 前記電子的コントローラは、前記将来位置と前記航空機の検出された高度と前記所定の地形データとに基づいて、前記高度アクチュエータを制御するように構成される、
 航空機。
- [請求項2] 前記少なくともひとつのセンサは、GPSセンサを含む、
 請求項1に記載の航空機。
- [請求項3] 前記電子的コントローラは、さらに前記航空機の方向に基づいて、
 前記将来位置を推定するようにさらに構成される、
 請求項1又は2に記載の航空機。
- [請求項4] 前記電子的コントローラは、前記将来位置における前記所定の地形データを決定するようにさらに構成される、
 請求項1～3のいずれか1項に記載の航空機。
- [請求項5] 前記電子的コントローラは、前記検出された高度と前記将来位置における前記所定の地形データとの差分に基づいて、前記高度アクチュエータを制御するようにさらに構成される、
 請求項4に記載の航空機。
- [請求項6] 前記電子的コントローラは、前記区域の起伏がある地形に対する目

標高度を維持するようにさらに構成される、

請求項 1 ～ 5 のいずれか 1 項に記載の航空機。

[請求項7] 手動制御コマンド信号を受信するように構成された無線通信装置をさらに備える、

請求項 1 ～ 6 のいずれか 1 項に記載の航空機。

[請求項8] レーダーとライダーとの少なくともひとつを用いて、前記航空機の前記高度を検出するように構成された対地高度検出器をさらに備える、

請求項 1 ～ 7 のいずれか 1 項に記載の航空機。

[請求項9] 少なくともひとつの農薬散布タンクをさらに備える、

請求項 1 ～ 8 のいずれか 1 項に記載の航空機。

[請求項10] 前記電子的コントローラは、前記区域の作物上の各パスに対して始点と終点とを有する前記航空機の飛行経路に沿って飛行するために前記高度アクチュエータを制御するように構成されており、前記始点と前記終点との間にウェイポイントを有さない、

請求項 1 ～ 9 のいずれか 1 項に記載の航空機。

[請求項11] 前記所定の地形データは、数値標高モデルを含む、

請求項 1 ～ 10 のいずれか 1 項に記載の航空機。

[請求項12] 前記航空機は、ヘリコプタである、

請求項 1 ～ 11 のいずれか 1 項に記載の航空機。

[請求項13] 前記航空機は、無人航空機である、

請求項 1 ～ 12 のいずれか 1 項に記載の航空機。

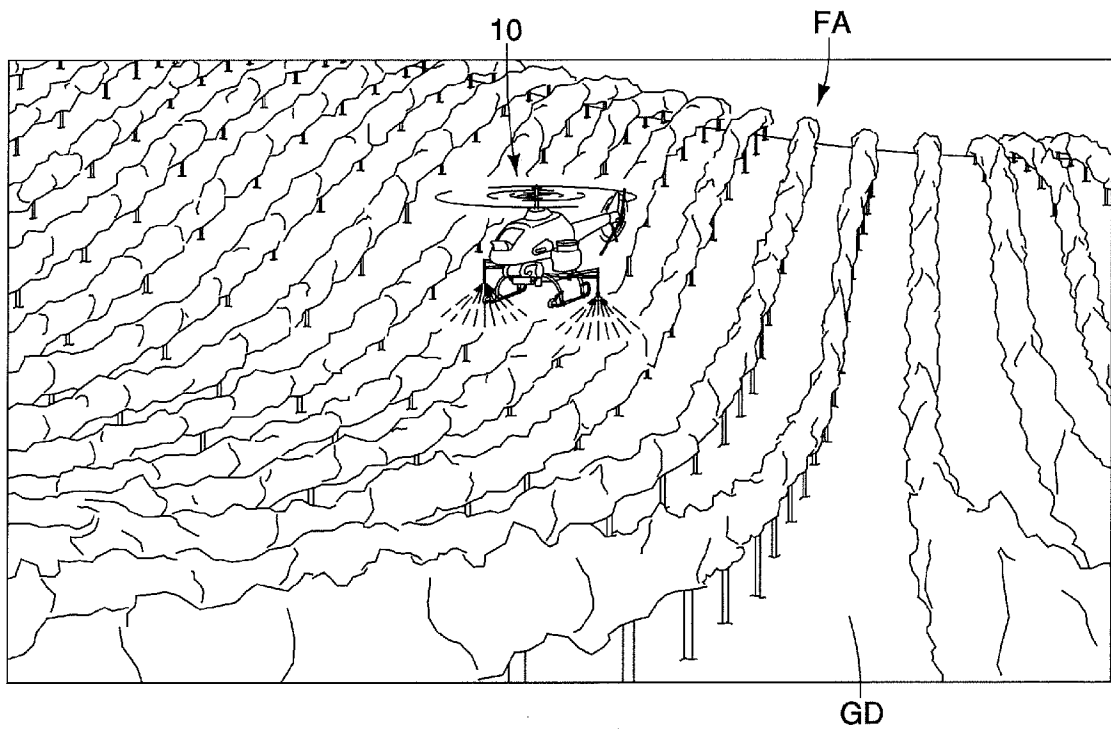
[請求項14] 航空機の高度と前記航空機の現在位置と前記航空機の速度とを検出し、

前記航空機の検出された現在位置と前記航空機の検出された速度とに基づいて、前記航空機の将来位置を推定し、

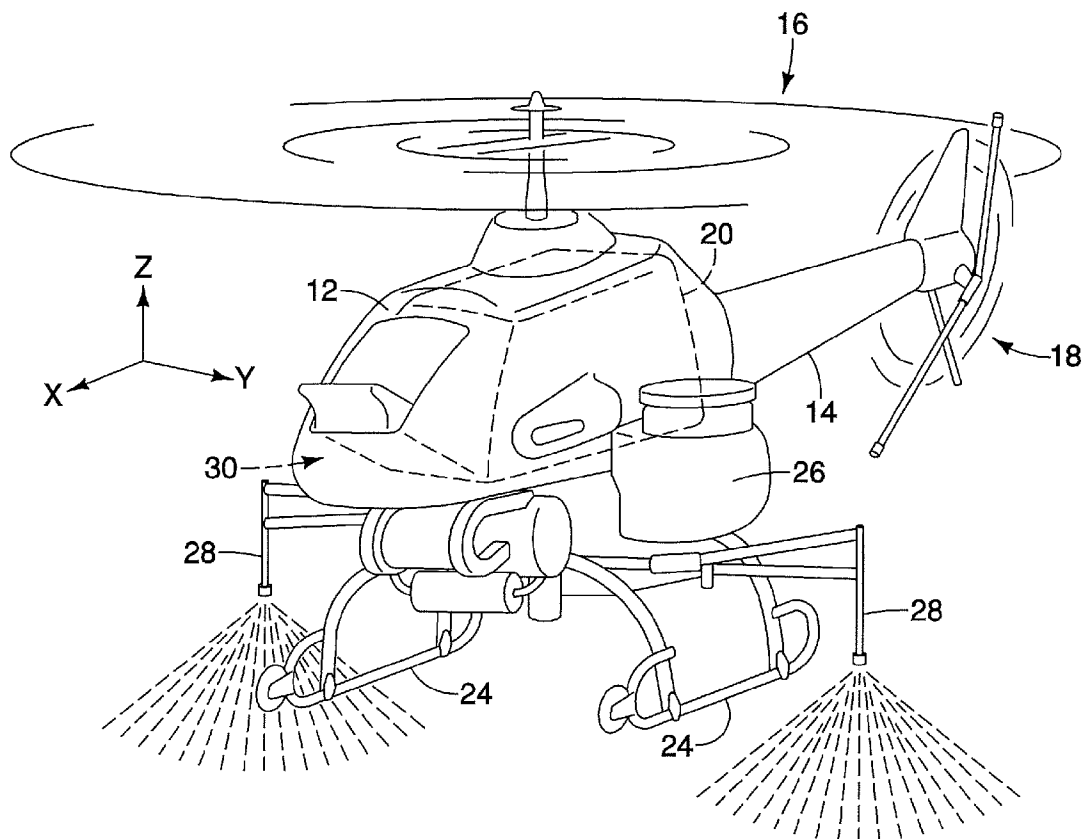
前記将来位置と前記航空機の検出された高度と区域の所定の地形データとに基づいて、前記航空機の前記高度を制御する、

航空機高度制御方法。

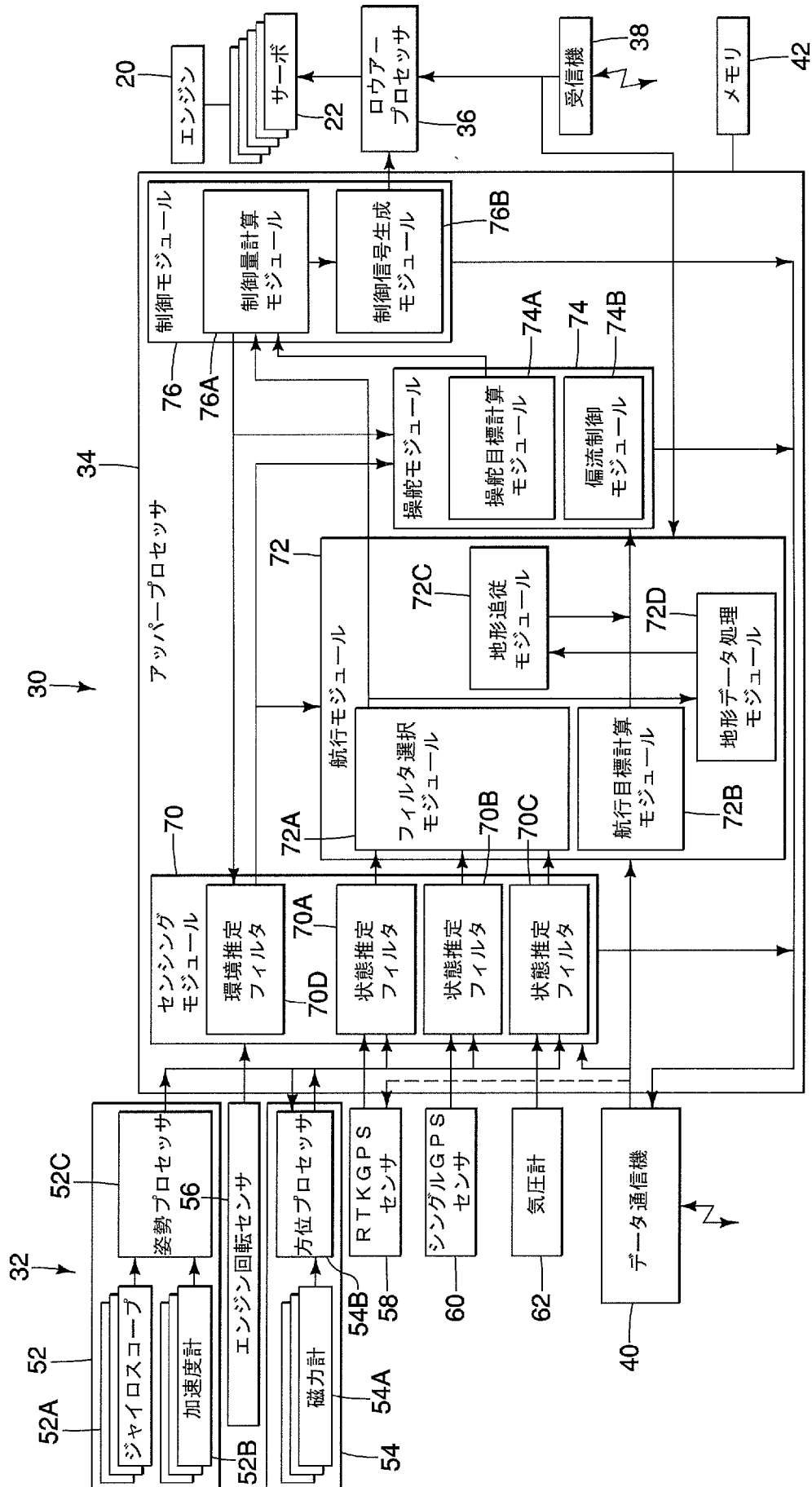
[図1]



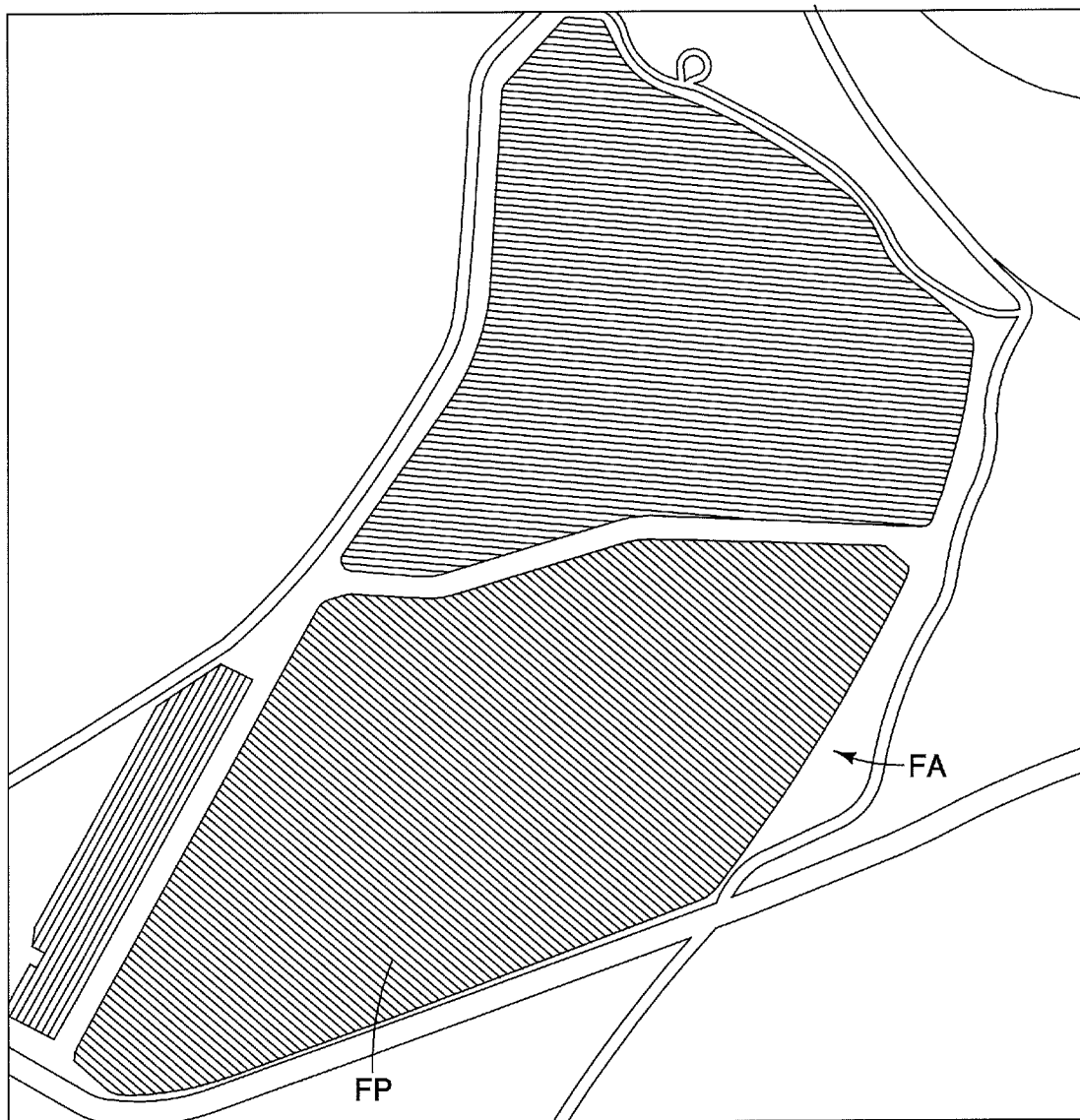
[図2]



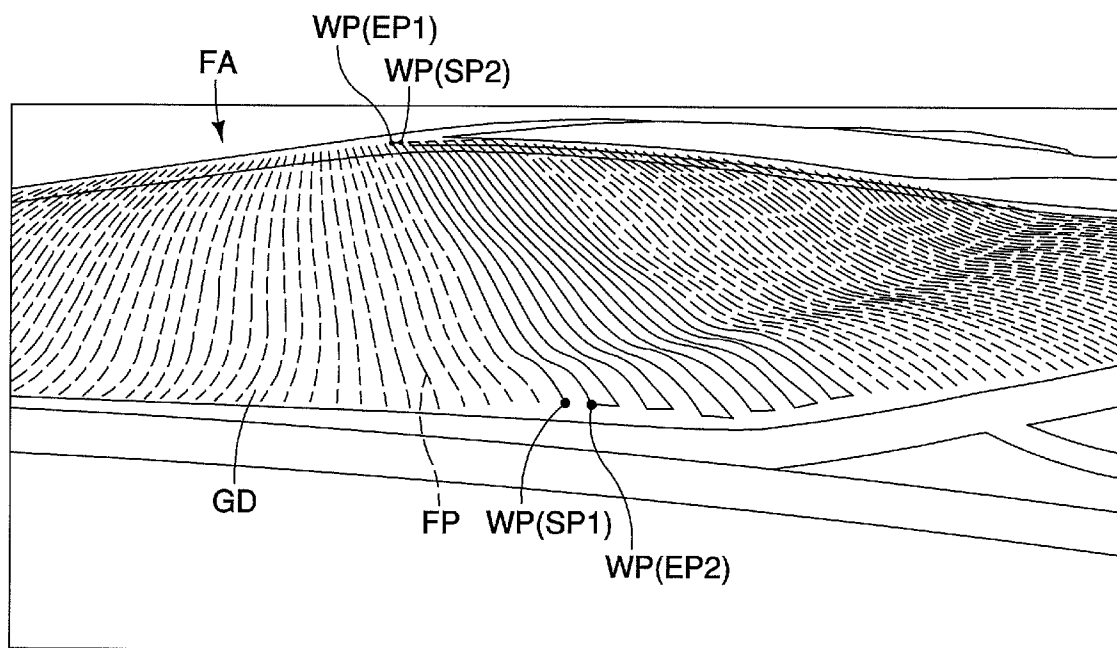
[図3]



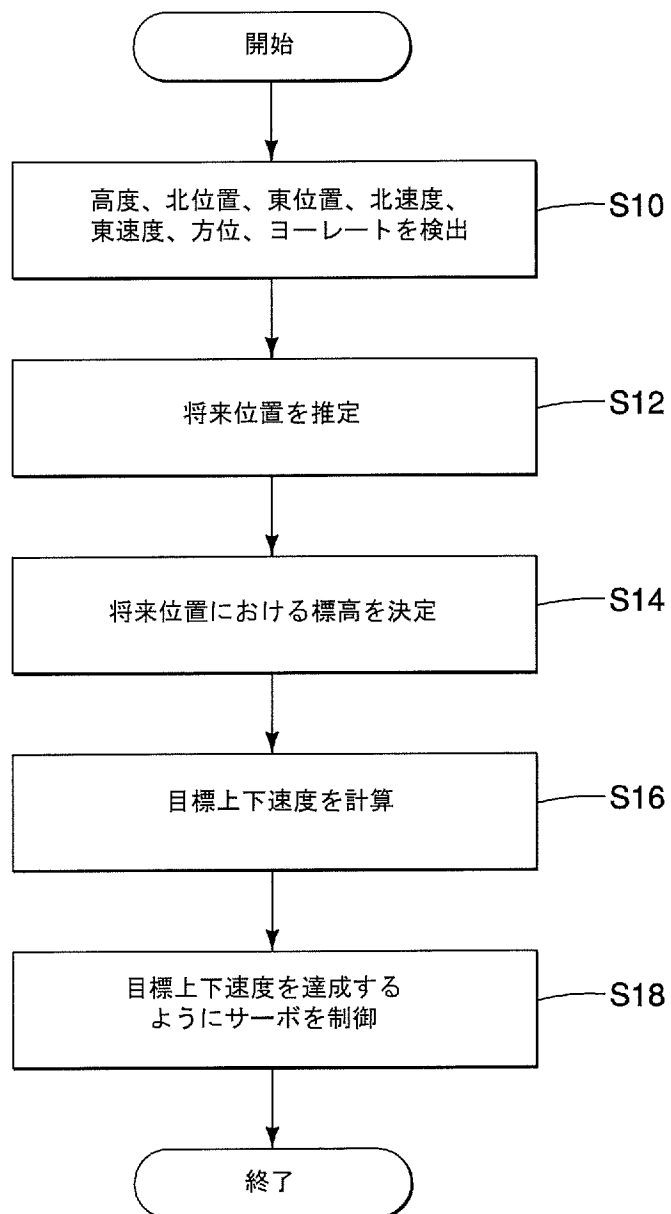
[図4]



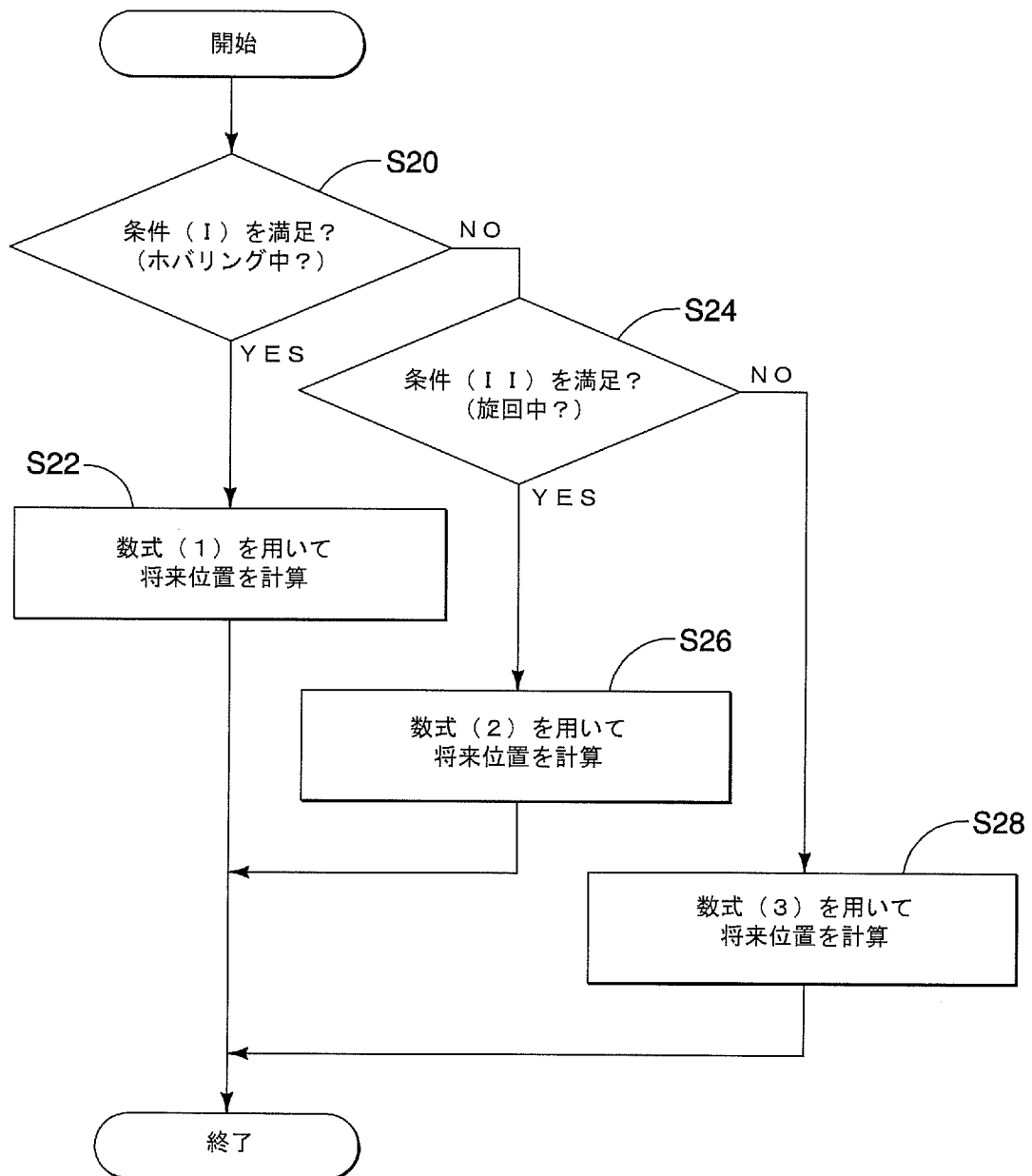
[図5]



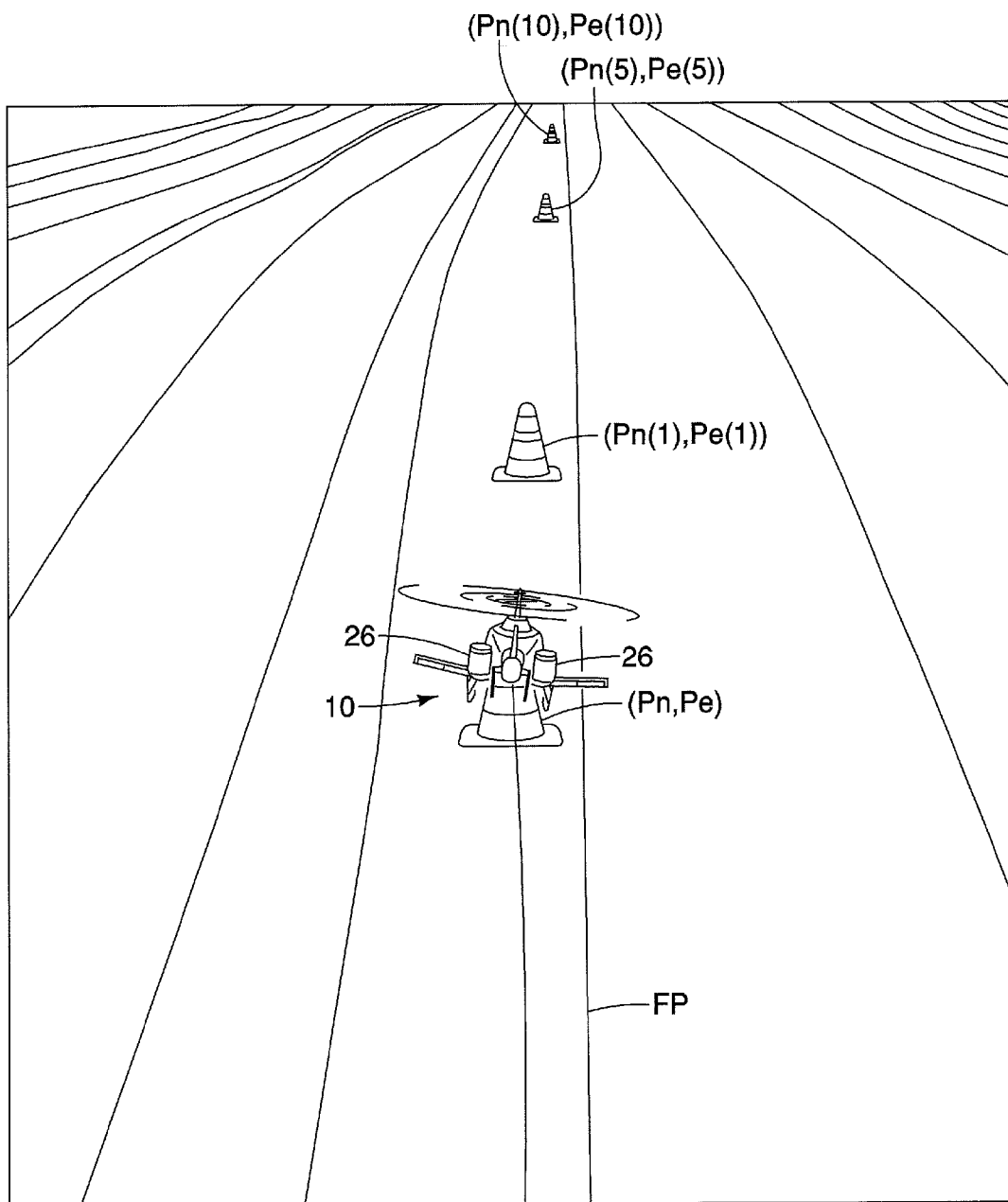
[図6]



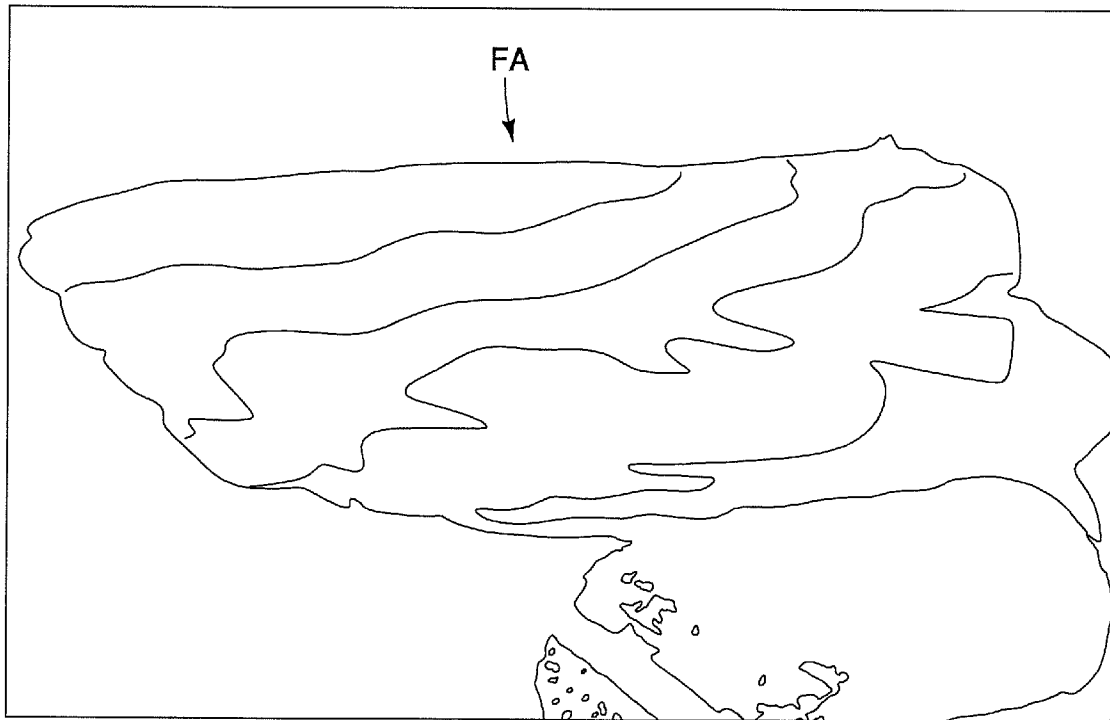
[図7]



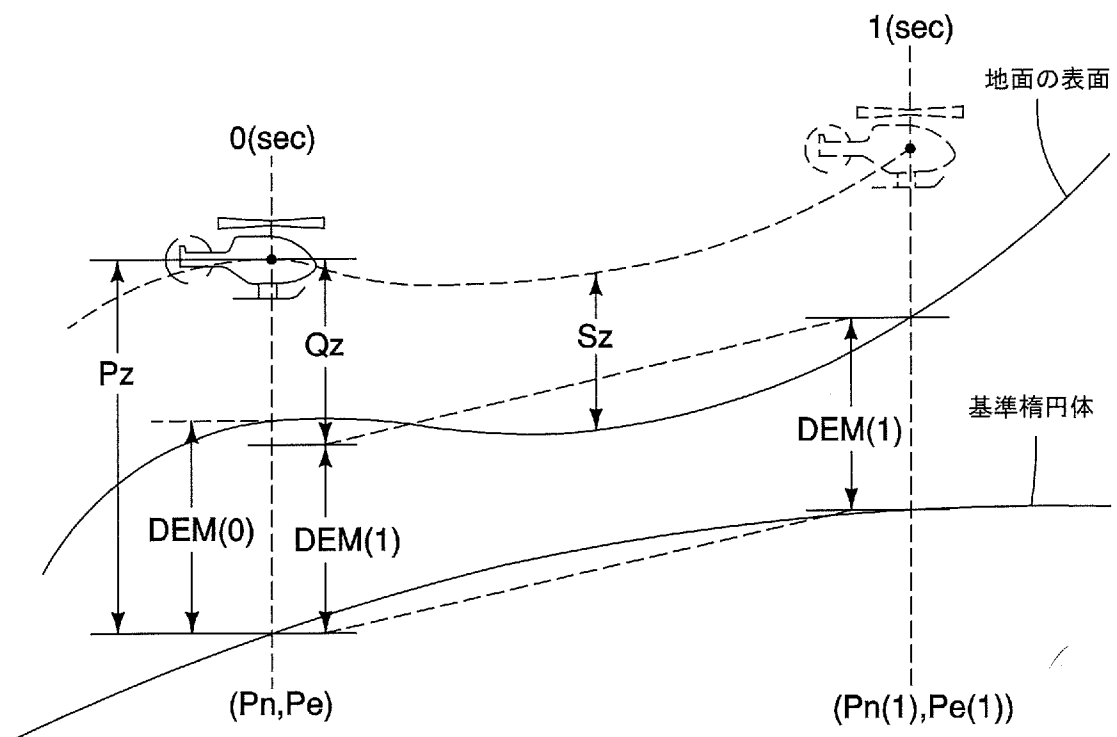
[図8]



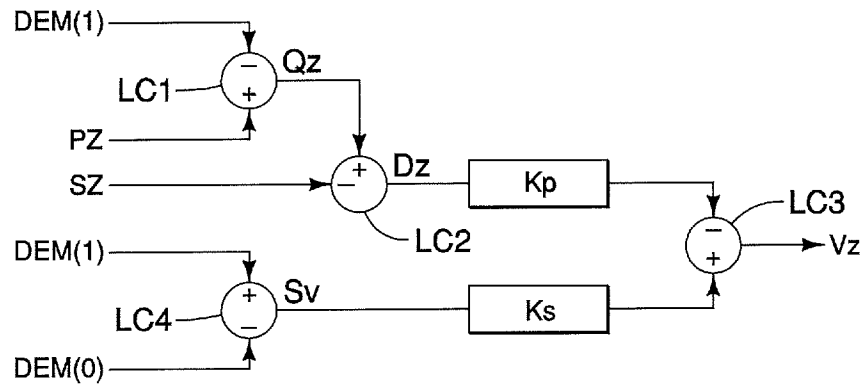
[図9]



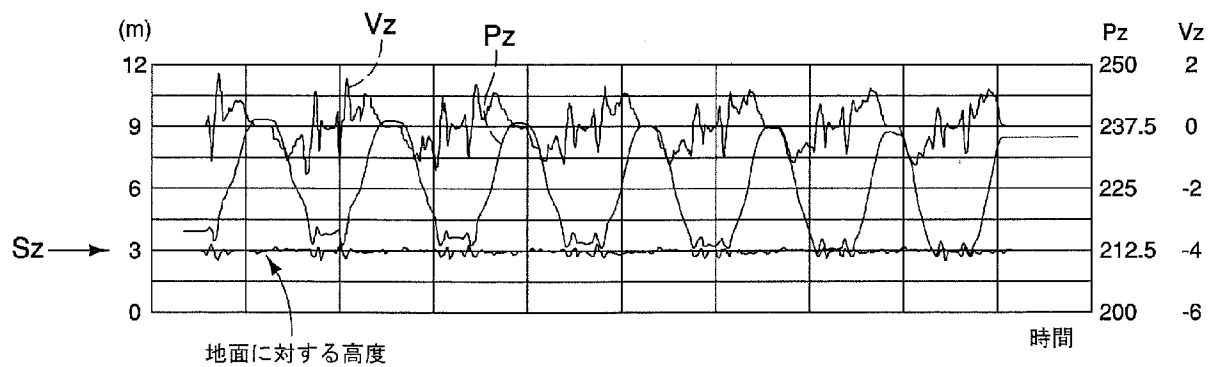
[図10]



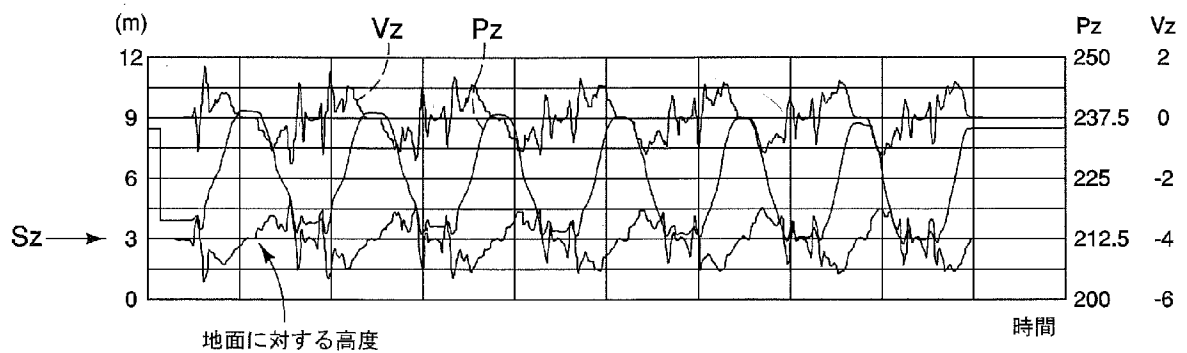
[図11]



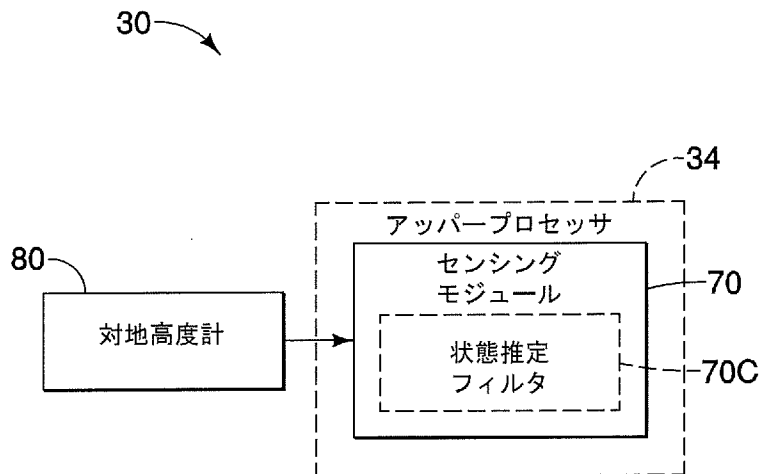
[図12]



[図13]



[図14]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2017/034310

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

B64C39/02(2006.01)i, G05D1/04(2006.01)i

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)

B64C39/02, G05D1/04

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Jitsuyo Shinan Koho	1922-1996	Jitsuyo Shinan Toroku Koho	1996-2017
Kokai Jitsuyo Shinan Koho	1971-2017	Toroku Jitsuyo Shinan Koho	1994-2017

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.
X Y A	JP 2016-534468 A (Insitu, Inc. (A Subsidiary of the Boeing Co.)), 04 November 2016 (04.11.2016), paragraphs [0022], [0024] & US 2016/0364991 A1 paragraphs [0030], [0032] & EP 3039665 A1 & AU 2014311470 A1 & CA 2918836 A1	1, 3-7, 11-14 2, 8-9 10
Y	WO 2016/033754 A1 (SZ DJI TECHNOLOGY CO., LTD.), 10 March 2016 (10.03.2016), paragraphs [0084] to [0085] & US 2017/0158329 A1 paragraphs [0085] to [0086] & CN 105517476 A	2, 8-9

☒ Further documents are listed in the continuation of Box C.

☐ 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
23 October 2017 (23.10.17)

Date of mailing of the international search report
07 November 2017 (07.11.17)

Name and mailing address of the ISA/
Japan Patent Office
3-4-3, Kasumigaseki, Chiyoda-ku,
Tokyo 100-8915, Japan

Authorized officer

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2017/034310

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	JP 6195216 B1 (Yashima Dengyo Co., Ltd.), 13 September 2017 (13.09.2017), paragraph [0059] (Family: none)	9
A	JP 2002-211494 A (Todaka Corp.), 31 July 2002 (31.07.2002), entire text; all drawings (Family: none)	10

A. 発明の属する分野の分類 (国際特許分類 (IPC))

Int.Cl. B64C39/02(2006.01)i, G05D1/04(2006.01)i

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))

Int.Cl. B64C39/02, G05D1/04

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	1971-2017年
日本国実用新案登録公報	1996-2017年
日本国登録実用新案公報	1994-2017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
X Y A	JP 2016-534468 A (インサイチュ・インコーポレイテッド・(ア・サブシディアリー・オブ・ザ・ボーイング・カンパニー)) 2016.11.04, 段落[0022], [0024] & US 2016/0364991 A1, 段落[0030], [0032] & EP 3039665 A1 & AU 2014311470 A1 & CA 2918836 A1	1, 3-7, 11-14 2, 8-9 10
Y	WO 2016/033754 A1 (SZ DJI TECHNOLOGY CO., LTD.) 2016.03.10, 段落[0084]-[0085] & US 2017/0158329 A1, 段落[0085]-[0086]	2, 8-9

C欄の続きにも文献が列挙されている。

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矛盾するものではなく、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

23.10.2017

国際調査報告の発送日

07.11.2017

国際調査機関の名称及びあて先

日本国特許庁 (ISA/J P)

郵便番号 100-8915

東京都千代田区霞が関三丁目4番3号

特許庁審査官 (権限のある職員)

前原 義明

3D

4851

電話番号 03-3581-1101 内線 3341

C (続き) . 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	& CN 105517476 A JP 6195216 B1 (八洲電業株式会社) 2017.09.13, 段落[0059] (ファミリーなし)	9
A	JP 2002-211494 A (株式会社戸▲高▼製作所) 2002.07.31, 全文, 全図 (ファミリーなし)	10