(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
2019年10月24日(24.10.2019)

WIPO | PCT

(10) 国際公開番号
WO 2019/203166 A1

(51) 国際特許分類:
G05D 1/10 (2006.01)　*B64C 27/08* (2006.01)
B64C 19/02 (2006.01)　*B64C 39/02* (2006.01)

(21) 国際出願番号：　PCT/JP2019/016054

(22) 国際出願日：　2019年4月12日(12.04.2019)

(25) 国際出願の言語：　日本語

(26) 国際公開の言語：　日本語

(30) 優先権データ：
特願 2018-078532　2018年4月16日(16.04.2018)　JP

(71) 出願人: 日本電信電話株式会社 (**NIPPON TELEGRAPH AND TELEPHONE CORPORATION**) [JP/JP]; 〒1008116 東京都千代田区大手町一丁目５番１号 Tokyo (JP).

(72) 発明者: 宮川 勲(**MIYAGAWA, Isao**); 〒1808585 東京都武蔵野市緑町三丁目９番１１号 ＮＴＴ 知的財産センタ内 Tokyo (JP). 杵渕 哲也(**KINEBUCHI, Tetsuya**); 〒1808585 東京都武蔵野市緑町三丁目９番１１号 ＮＴＴ 知的財産センタ内 Tokyo (JP).

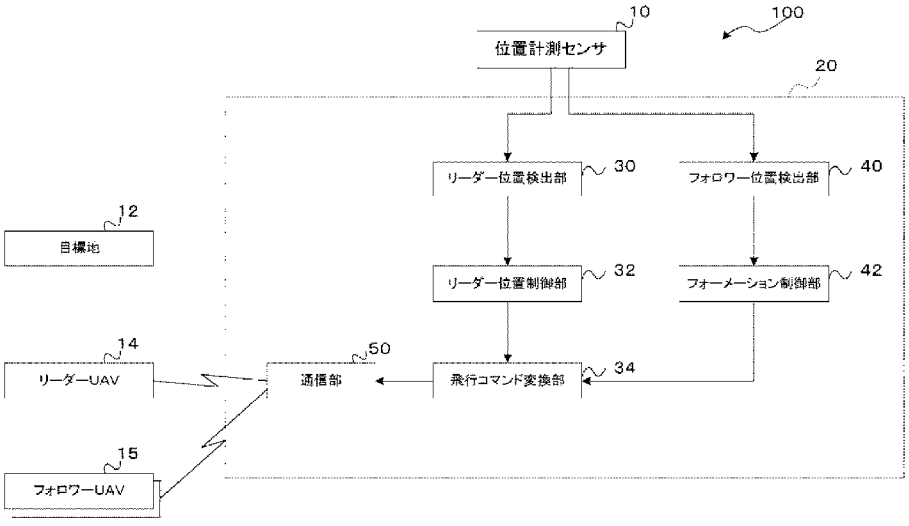
(74) 代理人: 特許業務法人太陽国際特許事務所 (**TAIYO, NAKAJIMA & KATO**); 〒1600022 東京都新宿区新宿４丁目３番１７号 Tokyo (JP).

(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, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JO, KE, KG, KH,

WO 2019/203166 A1

(54) **Title:** FLIGHT CONTROL DEVICE, METHOD, AND PROGRAM

(54) 発明の名称： 飛行制御装置、方法、及びプログラム



10 Position measurement sensor
12 Destination
14 Leader UAV
15 Follower UAV
30 Leader position detection part
32 Leader position control part
34 Flight command conversion part
40 Follower position detection part
42 Formation control part
50 Communication part

(57) **Abstract:** An objective of the present invention is to enable control so as to cause a plurality of UAVs to assemble in formation and fly smoothly and stably. A flight command conversion part: computes flight command data for a leader UAV on the basis of first control data having been updated for the leader UAV and an azimuth having been computed for the leader UAV; controls the motion of the leader UAV on the basis of the computed flight command data; and for each of a plurality of follower UAVs, computes flight command data for the follower UAV on the basis of second control data having been updated for the follower UAV and an azimuth having been computed for the follower UAV, and controls the

[続葉有]

KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, ME, 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, 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).

添付公開書類:

一 国際調査報告 (条約第21条(3))

motion of the follower UAV on the basis of the computed flight command data.

(57) 要約:複数台のＵＡＶが編隊を組んで円滑かつ安定的に飛行させるように制御できる。飛行コマンド変換部が、リーダーＵＡＶについて更新された第１制御データと、リーダーＵＡＶについて算出された方位角とに基づいて、リーダーＵＡＶにおける、飛行指令データを算出し、算出した前記飛行指令データに基づいてリーダーＵＡＶの運動を制御し、複数のフォロワーＵＡＶの各々について、フォロワーＵＡＶについて更新された第２制御データと、フォロワーＵＡＶについて算出された方位角とに基づいて、フォロワーＵＡＶにおける、飛行指令データを算出し、算出した飛行指令データに基づいてフォロワーＵＡＶの運動を制御する。

明　細　書

発明の名称 ： 飛行制御装置、方法、及びプログラム

技術分野

[0001] 本発明は、飛行制御装置、方法、及びプログラムに係り、特に、無人飛行機を制御する飛行制御装置、方法、及びプログラムに関する。

背景技術

[0002] クアッドロータ型ＵＡＶ（Unmanned Aerial Vehicle）は４つのプロペラを持ち、それぞれのプロペラに与える揚力を制御することにより飛行操縦する無人飛行機である。ドローンと呼ばれる無人飛行機の多くは、クアッドロータ型ＵＡＶの一種である。以降で扱う無人飛行機をＵＡＶと略称する。

[0003] 一般的に、ＵＡＶの姿勢を計測するために、図１５に示すように機体にローカル座標系が設定される。ＵＡＶの前進方向をＸ軸、Ｘ軸と垂直な方向をＹ軸、重力とは逆方向をＺ軸とする。

[0004] また、ＵＡＶの三次元位置を計測するため、図１６に示すように、ある基準となるグローバル座標系を設定する。ＧＰＳでは世界座標系とした三次元座標となり、モーションキャプチャシステムではその計測座標系がグローバル座標系となる。ＵＡＶの重心すなわちＵＡＶの位置（ローカル座標系の原点）はグローバル座標系の点Ｐ＝（Ｘ，Ｙ，Ｚ）として表現する。また、ＵＡＶの姿勢はグローバル座標系に対するローカル座標系の回転角で表現し、Ｘ軸周りの回転はロール回転（回転角φ）、Ｙ軸周りの回転はピッチ回転（回転角ω）、Ｚ軸周りの回転はヨー回転（回転角θ）と呼ばれる。ＵＡＶの飛行運動は、４つのプロペラに与える揚力を変化させることにより、Ｘ軸周りの回転、Ｙ軸周りの回転、Ｚ軸周りの回転を発生させる。Ｙ軸周りの回転はＸ軸方向の並進運動を生み出し、Ｘ軸周りの回転はＹ軸方向の並進運動を生み出す。Ｚ軸周りの回転は方位の回転を生み出し、同じ揚力が同時に４つのプロペラに与えられたとき、その強弱によってＺ軸方向の並進運動（高度の昇降）を生み出す。

[0005] グローバル座標系において所定の座標値（X_d，Y_d，Z_d）と方位θ_dが与えられたとき、ＵＡＶの現在位置Ｐ＝（Ｘ，Ｙ，Ｚ）と現在方位から、その所定位置へ飛行して所定方位に機体を向けるためには、ＵＡＶの姿勢と位置を制御する必要がある。非特許文献１には、ＵＡＶの運動方程式と角運動方程式に基づいたバックステッピング制御が公開されている。非特許文献２では、AR Drone 2.0（市販の低価格なクアッドロータ型ＵＡＶ）に関する飛行運動制御法が公開されている。従来技術の多くは、グローバル座標系における飛行の軌跡として離散的な所定位置と所定方位が与えられ、ＵＡＶが各点と各方位を追跡するようにその運動が制御される。一方、単体のＵＡＶを使った飛行とは異なり、複数台のＵＡＶを使った編隊飛行はより広域な視点からのパトロール、レスキュー、運搬などを提供することができる。複数台のＵＡＶを使った編隊飛行では、ミッション（パトロール、レスキュー、運搬などの作業目的）に応じてそれぞれのＵＡＶの位置と姿勢を制御する必要があり、非特許文献３では編隊飛行制御の方法が公開されている。

[0006] 単体ＵＡＶの飛行運動制御に関する先行技術は非特許文献１と非特許文献２に、複数台のＵＡＶを使った編隊飛行制御は非特許文献３において公知となっている。

先行技術文献

非特許文献

[0007] 非特許文献1：T. Madani and A. Benallegue: ”Backstepping Control for a Quadrotor Helicopter”, IEEE Conference on Intelligent Robots and Systems, 2006.

非特許文献2：L. V. Santana, A. S. Brandao, M. S-Filho, and R. Carelli: ”A Trajectory Tracking and 3D Positioning Controller for the AR.Drone Quadrotor”, International Conference on Unmanned Aircraft Systems (ICUAS) May 27-30, 2014.

非特許文献3：M. Iskandarani, S. N. Givigi, G. Fusina, and A. Beaulieu: ”Unmanned Aerial Vehicle Formation Flying using Linear Model Predic

tive Control", 2014 8th Annual IEEE Systems Conference(SysCon), 2014.

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0008] 複数台のＵＡＶを使った編隊飛行の例を図１７に示す。一般的に、編隊飛行では、リーダー・フォロワー編隊（ｌｅａｄｅｒ－ｆｏｌｌｏｗｅｒ ｆｏｒｍａｔｉｏｎ）により飛行する。飛行全体を指導するリーダー役のＵＡＶに対して、フォロワー役のＵＡＶが追従して飛行する。トレイルとは、リーダーのＵＡＶを先頭に、フォロワーのＵＡＶが縦一列に並んで飛行し、アブレストとは、リーダーのＵＡＶを中心に、フォロワーのＵＡＶが横一列に並んで飛行する。これに対して、デルタでは、リーダーのＵＡＶを先頭に、フォロワーのＵＡＶが三角形を形成するように追従して飛行する。

[0009] 非特許文献１と非特許文献２によれば、所定の経路に従って飛行するように、ＵＡＶの運動を適切に制御することができる。しかしながら、これらの技術は単体のＵＡＶを所定の経路に沿って目標地に到達することを目的とした制御であるが、編隊飛行においてはＵＡＶ間で衝突しないようにそれぞれのＵＡＶの運動を制御することが保証されていない。

[0010] 一方、障害物あるいは人との衝突を避けるため、特定の場所を飛行しないように空間中に拘束条件を設定することができる。また、飛行運動中の飛行トラブルを回避するため、ＵＡＶには多様なセンサやカメラが取り付けられている場合がある。例えば、超音波センサにより地面あるいは床からの高度を計測し、ジャイロセンサと加速度センサによって機体の速度と姿勢を計測することができる。また、移動物体を検出しながら、空間中を自律的に飛行させることにカメラが利用されている。これらの機体から計測した空間情報や画像情報を使うことも考えられるが、大半のＵＡＶに内蔵されているセンサの精度はミリ単位での正確な精度で計測できることを保証しておらず、別の手段を使って機体の正確な位置と方位を計測する必要がある。

[0011] 非特許文献３では図１７に示した編隊飛行を制御する方法が公開されているが、その方法は、ＵＡＶに与える入力データと出力（運動）データの関係

が数式モデルで与えられる場合に限定される。しかしながら、市販のクアッドロータ型ＵＡＶは入出力特性が不明のブラックボックスであるため、各機体の正確な位置と方位を計測しながら編隊飛行を制御する必要がある。

[0012] 本発明は、上記問題点を解決するために成されたものであり、複数台のＵＡＶが編隊を組んで円滑かつ安定的に飛行させるように制御できる飛行制御装置、方法、及びプログラムを提供することを目的とする。

課題を解決するための手段

[0013] 上記目的を達成するために、第１の発明に係る飛行制御装置は、複数のＵＡＶ（Unmanned Aerial Vehicle）の編隊飛行を制御し、前記編隊飛行を先導するリーダーＵＡＶと前記リーダーＵＡＶに従って編隊を形成する複数のフォロワーＵＡＶの各々を制御する飛行制御装置であって、前記リーダーＵＡＶと前記複数のフォロワーＵＡＶの各々とに付与され、かつ、マーカー間の距離が既知の複数のマーカーの各々の三次元座標を計測する位置計測センサと、前記位置計測センサによって計測された前記リーダーＵＡＶの前記マーカーの各々の三次元座標と、予め設定された前記リーダーＵＡＶの目標地の目標点とに基づいて、前記リーダーＵＡＶについて、前記マーカーの各々の三次元座標を結ぶ第１線分及び第２線分の交点、前記交点からの前記目標点までのベクトル、及びグローバル座標系における前記目標点に対する前記マーカーの各々の三次元座標を結んだ前記第１線分の方位角を算出するリーダー位置検出部と、前記リーダーＵＡＶの前記目標点までのベクトルから求まる距離に基づいて、前記リーダーＵＡＶの位置を制御するための第１制御データを更新するリーダー位置制御部と、前記複数のフォロワーＵＡＶの各々について、前記位置計測センサによって計測された前記フォロワーＵＡＶの前記マーカーの各々の三次元座標と、前記リーダーＵＡＶの第１線分及び第２線分の交点から、前記第１線分又は前記第２線分の延長線上に予め定められた距離だけ離れた座標により定まる、前記フォロワーＵＡＶの目標点とに基づいて、前記フォロワーＵＡＶについて、前記マーカーの各々の三次元座標を結ぶ第１線分及び第２線分の交点、前記交点からの前記目標点までのベ

クトル、及びグローバル座標系における前記目標点に対する前記マーカーの各々の三次元座標を結んだ前記第１線分の方位角を算出するフォロワー位置検出部と、前記複数のフォロワーＵＡＶの各々について、前記フォロワーＵＡＶの前記目標点までのベクトルから求まる距離に基づいて、前記フォロワーＵＡＶの位置を制御するための第２制御データを更新するフォーメーション制御部と、前記リーダーＵＡＶについて更新された前記第１制御データと、前記リーダーＵＡＶについて算出された前記方位角とに基づいて、前記リーダーＵＡＶにおける、飛行指令データを算出し、算出した前記飛行指令データに基づいて前記リーダーＵＡＶの運動を制御し、前記複数のフォロワーＵＡＶの各々について、前記フォロワーＵＡＶについて更新された前記第２制御データと、前記フォロワーＵＡＶについて算出された前記方位角とに基づいて、前記フォロワーＵＡＶにおける、飛行指令データを算出し、算出した前記飛行指令データに基づいて前記フォロワーＵＡＶの運動を制御する飛行コマンド変換部と、を含んで構成されている。

[0014] 第２の発明に係る飛行制御方法は、複数のＵＡＶ（Unmanned Aerial Vehicle）の編隊飛行を制御し、前記編隊飛行を先導するリーダーＵＡＶと前記リーダーＵＡＶに従って編隊を形成する複数のフォロワーＵＡＶの各々を制御する飛行制御装置における飛行制御方法であって、位置計測センサが、前記リーダーＵＡＶと前記複数のフォロワーＵＡＶの各々とに付与され、かつ、マーカー間の距離が既知の複数のマーカーの各々の三次元座標を計測するステップと、リーダー位置検出部が、前記位置計測センサによって計測された前記リーダーＵＡＶの前記マーカーの各々の三次元座標と、予め設定された前記リーダーＵＡＶの目標地の目標点とに基づいて、前記リーダーＵＡＶについて、前記マーカーの各々の三次元座標を結ぶ第１線分及び第２線分の交点、前記交点からの前記目標点までのベクトル、及びグローバル座標系における前記目標点に対する前記マーカーの各々の三次元座標を結んだ前記第１線分の方位角を算出するステップと、リーダー位置制御部が、前記リーダーＵＡＶの前記目標点までのベクトルから求まる距離に基づいて、前記リーダ

ーＵＡＶの位置を制御するための第１制御データを更新するステップと、飛行コマンド変換部が、前記リーダーＵＡＶについて更新された前記第１制御データと、前記リーダーＵＡＶについて算出された前記方位角とに基づいて、前記リーダーＵＡＶにおける、飛行指令データを算出し、算出した前記飛行指令データに基づいて前記リーダーＵＡＶの運動を制御するステップと、フォロワー位置検出部が、前記複数のフォロワーＵＡＶの各々について、前記位置計測センサによって計測された前記フォロワーＵＡＶの前記マーカーの各々の三次元座標と、前記リーダーＵＡＶの第１線分及び第２線分の交点から、前記第１線分又は前記第２線分の延長線上に予め定められた距離だけ離れた座標により定まる、前記フォロワーＵＡＶの目標点とに基づいて、前記フォロワーＵＡＶについて、前記マーカーの各々の三次元座標を結ぶ第１線分及び第２線分の交点、前記交点からの前記目標点までのベクトル、及びグローバル座標系における前記目標点に対する前記マーカーの各々の三次元座標を結んだ前記第１線分の方位角を算出するステップと、フォーメーション制御部が、前記複数のフォロワーＵＡＶの各々について、前記フォロワーＵＡＶの前記目標点までのベクトルから求まる距離に基づいて、前記フォロワーＵＡＶの位置を制御するための第２制御データを更新するステップと、前記飛行コマンド変換部が、前記複数のフォロワーＵＡＶの各々について、前記フォロワーＵＡＶについて更新された前記第２制御データと、前記フォロワーＵＡＶについて算出された前記方位角とに基づいて、前記フォロワーＵＡＶにおける、飛行指令データを算出し、算出した前記飛行指令データに基づいて前記フォロワーＵＡＶの運動を制御するステップと、を含んで実行することを特徴とする。

[0015] 第３の発明に係るプログラムは、コンピュータを、第１の発明に係る飛行制御装置の各部として機能させるためのプログラムである。

発明の効果

[0016] 本発明の飛行制御装置、方法、及びプログラムによれば、リーダーＵＡＶについて更新された第１制御データと、リーダーＵＡＶについて算出された

方位角とに基づいて、リーダーＵＡＶにおける、飛行指令データを算出し、算出した前記飛行指令データに基づいてリーダーＵＡＶの運動を制御し、複数のフォロワーＵＡＶの各々について、フォロワーＵＡＶについて更新された第２制御データと、フォロワーＵＡＶについて算出された方位角とに基づいて、フォロワーＵＡＶにおける、飛行指令データを算出し、算出した飛行指令データに基づいてフォロワーＵＡＶの運動を制御することにより、複数台のＵＡＶが編隊を組んで円滑かつ安定的に飛行させるように制御できる、という効果が得られる。

図面の簡単な説明

[0017] [図1]本発明の実施形態に係る飛行制御装置の構成を示すブロック図である。

[図2]ＵＡＶの飛行を制御する状況の一例を示す図である。

[図3]本発明の実施形態に係る飛行制御装置における飛行制御処理ルーチンを示すフローチャートである。

[図4]飛行制御処理ルーチンにおけるリーダー位置検出処理のフローチャートである。

[図5]マーカーの点ａ、点ｂ、及び目標地の点ｐをZ_w軸方向から視た位置と方位の関係を表す図である。

[図6]飛行制御処理ルーチンにおけるリーダー位置制御処理のフローチャートである。

[図7]飛行コマンド変換処理ルーチンにおける飛行コマンド変換処理のフローチャートである。

[図8]飛行コマンド変換処理ルーチンにおけるフォロワー位置検出処理のフローチャートである。

[図9]トレイル・フォーメーションのリーダーＵＡＶとフォロワーＵＡＶとの位置関係を示す図である。

[図10]飛行コマンド変換処理ルーチンにおけるフォーメーション制御処理のフローチャートである。

[図11]アブレスト・フォーメーションのリーダーＵＡＶとフォロワーＵＡＶ

との位置関係を示す図である。

[図12]デルタ・フォーメーションのリーダーＵＡＶとフォロワーＵＡＶとの位置関係を示す図である。

[図13]デルタ・フォーメーションの制御後のリーダーＵＡＶとフォロワーＵＡＶとの位置関係を示す図である。

[図14]幾何パターンに基づいたＵＡＶの飛行経路の例を示す図である。

[図15]ＵＡＶの概観とＵＡＶ固定のローカル座標系の一例を示す図である。

[図16]グローバル座標系とＵＡＶ固定のローカル座標系の関係の一例を示す図である。

[図17]編隊飛行のフォーメーションの例を示す図である。

発明を実施するための形態

[0018] 以下、図面を参照して本発明の実施形態を詳細に説明する。本発明の実施形態に係る手法は、各ＵＡＶに対して３次元位置と方位を示す飛行指令を適切に出すことにより、複数のＵＡＶ同士を衝突させることなく、編隊を組んで自由自在に自律飛行することを可能とする。さらに、ユーザの意図で各ＵＡＶを制御することにより、人を取り巻く実環境において、人の単独行動では実現不可能な作業を複数のＵＡＶが支援する、あるいは協調作業することを可能とする。

[0019] ＜本発明の第１の実施形態に係る飛行制御装置の構成＞

本発明の第１の実施形態に係るクアッドロータ型ＵＡＶの飛行制御装置の構成について説明する。本実施形態は複数台のＵＡＶによる編隊飛行を制御する形態である。

[0020] 初期状態において、各ＵＡＶは任意の位置で飛行しているとする。本実施形態では、図１７（Ａ）に示したように、リーダー・フォロワー編隊においてリーダーＵＡＶ１４を先頭に、フォロワーＵＡＶ１５が縦一列に並んで飛行するトレイルをフォーメーションとして説明する。

[0021] 図１に示すように、本発明の第１の実施形態に係る飛行制御装置１００は、ＣＰＵと、ＲＡＭと、後述する飛行制御処理ルーチンを実行するためのプ

ログラムや各種データを記憶したＲＯＭと、を含むコンピュータで構成することが出来る。この飛行制御装置１００は、機能的には図１に示すように位置計測センサ１０と、演算部２０と、通信部５０とを備えている。この構成において、位置計測センサ１０は必ずしも構成要素として接続している必要はなく、処理に必要なデータを取得すればよく、演算部２０におけるリーダー位置検出部３０、リーダー位置制御部３２、飛行コマンド変換部３４、フォロワー位置検出部４０、フォーメーション制御部４２のからそれぞれの矢印へのデータの流れは、ハードディスク、ＲＡＩＤ装置、ＣＤ－ＲＯＭなどの記録媒体を利用する、または、ネットワークを介してリモートなデータ資源を利用する形態でもどちらでも構わない。

[0022] 位置計測センサ１０は、各ＵＡＶに付与され、かつ、マーカー間の距離が既知の複数のマーカーの各々の三次元座標を計測データとして計測する。一般的に、モーションキャプチャ装置は、所定のマーカーの３次元座標をリアルタイムで高精度に計測できることが知られている。本実施形態では、位置計測センサ１０の例として、モーションキャプチャ装置を利用する。図２に示す状況において、位置計測センサ１０はグローバル座標系において３次元座標を計測するようにセットアップされており、各ＵＡＶに付与された各マーカーの３次元座標が、ある一定間隔で逐次計測される。目標地は点ｐで示されており、その座標値は飛行計画に応じて任意に設定する。以降では、３台のＵＡＶによる編隊飛行制御の例を説明するが、４台以上のＵＡＶを利用する場合にも本発明の実施形態の手法を容易に拡張することができることは言うまでもない。

[0023] リーダーＵＡＶ１４には点ａ、点ｂ、点ｃ、並びに点ｄの位置にセンシング用のマーカーが取り付けられている。点ａと点ｂとを結ぶ第１線分が点ｃと点ｄとを結ぶ第２線分と点ｅの位置で直交しているとする。点ｅの位置は、線分が直交する条件を満たせばよく、各線分の中点である必要はない。フォロワーＵＡＶ１５＃１には点a_1、点b_1、点c_1、及び点d_1にセンシング用のマーカーが取り付けられている。点a_1と点b_1とを結ぶ第１線分が点c_1

と点d_1とを結ぶ第２線分と点e_1の位置で直交しているとする。同様に、フォロワーＵＡＶ１５＃２には点a_2、点b_2、点c_2、並びに点d_2の位置にセンシング用のマーカーが取り付けられている。点a_2と点b_2とを結ぶ第１線分が点c_2と点d_2とを結ぶ第２線分と点e_2の位置で直交しているとする。フォロワーＵＡＶ１５において、点e_1と点e_2の位置は、線分が直交する条件を満たせばよく、各線分の中点である必要はない。

[0024] 演算部２０は、位置計測センサ１０によりグローバル座標系におけるリーダーＵＡＶ１４の位置を検出するリーダー位置検出部３０と、所定の経路に沿ってリーダーＵＡＶ１４の飛行を制御するリーダー位置制御部３２と、リーダーＵＡＶ１４及びフォロワーＵＡＶ１５に指令データを送出するための飛行コマンド変換部３４と、位置計測センサ１０によりグローバル座標系におけるフォロワーＵＡＶ１５の位置を検出するフォロワー位置検出部４０と、リーダーＵＡＶ１４の位置に基づいてフォロワーＵＡＶ１５の飛行を制御するフォーメーション制御部４２とを含んで構成されている。なお各処理部の具体的な処理内容は後述の作用の説明において説明する。

[0025] リーダー位置検出部３０は、位置計測センサ１０によって計測されたリーダーＵＡＶ１４のマーカーの点ａ、点ｂ、点ｃ、及び点ｄの三次元座標と、予め設定されたＵＡＶ１４の目標地１２の目標点ｐとに基づいて、マーカーの点ａ、点ｂの三次元座標を結ぶ第１線分及び点ｃ、点ｄを結ぶ第２線分の交点ｅ、交点ｅからの目標点ｐまでのベクトルＴ、及びグローバル座標系における目標点ｐに対するマーカーの点ａ、点ｂの三次元座標を結んだ第１線分の方位角θを算出する。

[0026] リーダー位置制御部３２は、リーダーＵＡＶ１４の目標点ｐまでのベクトルＴから求まる距離||Ｔ||に基づいて、リーダーＵＡＶ１４の位置を制御するための第１制御データｕを更新する。

[0027] 飛行コマンド変換部３４は、リーダーＵＡＶ１４について、更新された制御データｕと、算出された方位角θとに基づいて、リーダーＵＡＶ１４における、Ｘ軸周りの回転速度V_x、Ｙ軸周りの回転速度V_y、Ｚ軸に沿った速度Ｖ

$_z$、及びＺ軸周りの回転速度V_θを飛行指令データとして算出し、飛行指令データを通信部５０を介してリーダーＵＡＶ１４に送信することで、算出した飛行指令データに基づいてリーダーＵＡＶ１４の運動を制御する。また、複数のフォロワーＵＡＶ１５の各々についても同様に、フォロワーＵＡＶ１５について、後述するフォーメーション制御部４２で更新された制御データu_iと、算出された方位角θ_iとに基づいて、フォロワーＵＡＶ１５における、Ｘ軸周りの回転速度V_x、Ｙ軸周りの回転速度V_y、Ｚ軸に沿った速度V_z、及びＺ軸周りの回転速度V_θを飛行指令データとして算出し、飛行指令データを通信部５０を介してフォロワーＵＡＶ１５に送信することで、算出した飛行指令データに基づいてフォロワーＵＡＶ１５の運動を制御する。

[0028] フォロワー位置検出部４０は、複数のフォロワーＵＡＶ１５の各々について、位置計測センサ１０によって計測されたフォロワーＵＡＶ１５のマーカーの各々の三次元座標と、リーダーＵＡＶ１４の第１線分及び第２線分の交点ｅから、第１線分又は第２線分の延長線上に予め定められた距離だけ離れた座標により定まる、フォロワーＵＡＶ１５の目標点p_iとに基づいて、フォロワーＵＡＶ１５について、マーカーの点a_i、点b_iの三次元座標を結ぶ第１線分及び点c_i、点d_iを結ぶ第２線分の交点、交点からの目標点p_iまでのベクトルT_i、及びグローバル座標系における目標点p_iに対するマーカーの点a_i、点b_iの三次元座標を結んだ第１線分の方位角を算出する。

[0029] フォーメーション制御部４２は、複数のフォロワーＵＡＶ１５の各々について、フォロワーＵＡＶ１５の目標点p_iまでのベクトルT_iから求まる距離$||T_i||$に基づいて、フォロワーＵＡＶ１５の位置を制御するための第２制御データu_iを更新する。

[0030] ＜本発明の第１の実施形態に係る飛行制御装置の作用＞

次に、本発明の第１の実施形態に係る飛行制御装置１００の作用について説明する。

[0031] リーダーＵＡＶ１４及び複数のフォロワーＵＡＶ１５の各々の三次元座標の計測を開始すると、飛行制御装置１００は、図３に示す飛行制御処理ルー

チンを実行する。

[0032] まず、ステップＳ１００では、リーダー位置検出部３０が、位置計測センサ１０によって計測されたリーダーＵＡＶ１４のマーカーの点ａ、点ｂ、点ｃ、及び点ｄの三次元座標と、予め設定されたリーダーＵＡＶ１４の目標地１２の目標点ｐとに基づいて、マーカーの点ａ、点ｂの三次元座標を結ぶ第１線分及び点ｃ、点ｄを結ぶ第２線分の交点ｅ、交点ｅからの目標点ｐまでのベクトルＴ、及びグローバル座標系における目標点ｐに対するマーカーの点ａ、点ｂの三次元座標を結んだ第１線分の方位角θを算出する。

[0033] 次に、ステップＳ１０２では、リーダー位置制御部３２が、リーダーＵＡＶ１４の目標点ｐまでのベクトルＴから求まる距離||Ｔ||に基づいて、リーダーＵＡＶ１４の位置を制御するための第１制御データｕを更新する。

[0034] ステップＳ１０４では、飛行コマンド変換部３４が、リーダーＵＡＶ１４について、ステップＳ１０２で更新された制御データｕと、算出された方位角θとに基づいて、リーダーＵＡＶ１４における、Ｘ軸周りの回転速度V_x、Ｙ軸周りの回転速度V_y、Ｚ軸に沿った速度V_z、及びＺ軸周りの回転速度V_θを飛行指令データとして算出し、飛行指令データを通信部５０を介してリーダーＵＡＶ１４に送信することで、算出した飛行指令データに基づいてリーダーＵＡＶ１４の運動を制御する。

[0035] ステップＳ１０６では、複数のフォロワーＵＡＶ１５を順番に制御するため、フォロワーＵＡＶ１５＃ｉ（ｉ＝１，２，・・・）を選択する。

[0036] ステップＳ１０８では、フォロワー位置検出部４０が、位置計測センサ１０によって計測されたフォロワーＵＡＶ１５＃ｉのマーカーの各々の三次元座標と、リーダーＵＡＶ１４の第１線分及び第２線分の交点ｅから、リーダーＵＡＶ１４の第１線分又は第２線分の延長線上に予め定められた距離だけ離れた座標により定まる、フォロワーＵＡＶ１５の目標点p_iとに基づいて、フォロワーＵＡＶ１５＃ｉについて、マーカーの点a_i、点b_iの三次元座標を結ぶ第１線分及び点c_i、点d_iを結ぶ第２線分の交点、交点からの目標点p_iまでのベクトルT_i、及びグローバル座標系における目標点p_iに対するマ

ーカーの点a_i、点b_iの三次元座標を結んだ第１線分の方位角を算出する。

[0037] ステップＳ１１０では、フォーメーション制御部４２は、フォロワーＵＡＶ１５＃ｉについて、フォロワーＵＡＶ１５＃ｉの目標点p_iまでのベクトルT_iから求まる距離$||T_i||$に基づいて、フォロワーＵＡＶ１５＃ｉの位置を制御するための第２制御データu_iを更新する。

[0038] ステップＳ１１２では、飛行コマンド変換部３４が、フォロワーＵＡＶ１５＃ｉについて、ステップＳ１１０で更新された第２制御データu_iと、算出された方位角θ_iとに基づいて、フォロワーＵＡＶ１５＃ｉにおける、Ｘ軸周りの回転速度V_x、Ｙ軸周りの回転速度V_y、Ｚ軸に沿った速度V_z、及びＺ軸周りの回転速度V_θを飛行指令データとして算出し、飛行指令データを通信部５０を介してフォロワーＵＡＶ１５＃ｉに送信することで、算出した飛行指令データに基づいてフォロワーＵＡＶ１５＃ｉの運動を制御する。

[0039] ステップＳ１１４では、全てのフォロワーＵＡＶ１５＃ｉについて制御を終了したかを判定し、終了していなければステップＳ１０６に戻って次のフォロワーＵＡＶ１５＃ｉを選択して処理を繰り返し、終了していれば飛行制御処理ルーチンを終了する。

[0040] 次に、ステップＳ１００のリーダー位置検出部３０の位置検出処理の詳細について説明する。

[0041] 図４はリーダー位置検出部３０の処理のフロー図である。リーダー位置検出部３０は処理を開始すると、ステップＳ１０００で、グローバル座標系における目標地１２の目標点ｐを設定する。目標点ｐは操作者が決定した任意の三次元座標でよい。

[0042] ステップＳ１００２で、リーダーＵＡＶ１４のマーカーの点ａ、点ｂ、点ｃ、及び点ｄを位置計測センサ１０により検出し、その交点ｅの位置を算出する。交差する位置ｅにセンシング用のマーカーを設置してもよいが、本実施形態では汎用性のために、点ｅの位置を４つのマーカーの点ａ、点ｂ、点ｃ、及び点ｄから計算で求める。本処理では、点ｅの３次元座標を現在位置と称しており、以降では、点ｅをリーダーＵＡＶ１４の現在位置とする。

[0043] ステップＳ１００４で、リーダーＵＡＶ１４の現在位置（点ｅ）から目標地（点ｐ）までのベクトルＴを、Ｔ＝ｐ－ｅの計算により求める。

[0044] ステップＳ１００６で、点ａから点ｂへのベクトルａ－ｂがベクトルＴと直交するために必要な回転角（方位角）をベクトル内積の関係を利用して算出する。図５は、マーカーの点ａ、マーカーの点ｂ、及び目標地の点ｐをZ_w軸方向から視た位置と方位の関係を表す。方位角θ＝０のとき、ベクトルａ－ｂがベクトルＴと直交する。

[0045] ステップＳ１００８で、位置検出の処理を停止するかを判定し、処理を停止する場合にはリーダー位置検出部３０の処理を終了し、終了しない場合にはステップＳ１００２に戻って処理を繰り返す。なお、処理を停止する場合とは、ここでは操作者がリーダーＵＡＶ１４の飛行制御を終了する場合とし、以下の処理においても同様である。

[0046] リーダー位置検出部３０では、以上の処理により、リーダーＵＡＶの現在位置（点ｅ）と、目標点ｐまでのベクトルＴと、方位角θとを算出する。

[0047] 次に、ステップＳ１０２のリーダー位置制御部３２の制御処理の詳細について説明する。本処理では、リーダー位置検出部３０で得たベクトルＴに基づき、現在位置から目標地までの直線飛行を制御するための処理フローを説明する。

[0048] 図６はリーダー位置制御部３２の処理のフロー図である。リーダー位置制御部３２は処理を開始すると、ステップＳ１１００で、許容距離を指定する。許容距離とは、リーダーＵＡＶ１４の現在位置ｅが目標地の点ｐに到達したかどうかを判定するための距離ΔＬである。ＵＡＶの飛行には空気抵抗によるゆらぎが影響を与えるため、許容距離ΔＬの例として１０センチメートルとする。

[0049] リーダー位置検出部３０において、リーダーＵＡＶ１４の現在位置（点ｅ）が位置計測センサ１０を使って時系列に得られており、現在位置を取得するたびに本処理ルーチンのステップＳ１１０２に与えられる（図４及び図６にはＸと記した）。

[0050] ステップＳ１１０２で、与えられた現在位置のデータにより、現在位置ｅから目標地の点ｐまでの距離||Ｔ||を算出する。||・||はベクトルのノルム（大きさ）を表す。

[0051] ステップＳ１１０４で、距離||Ｔ||が許容距離ΔＬ以下（||Ｔ||≦ΔＬ）であるか否かを判定する。||Ｔ||≦ΔＬであればステップＳ１１０６へ移行する。||Ｔ||≦ΔＬでなく、||Ｔ||＞ΔＬであれば運動を制御するためステップＳ１１０８へ移行する。

[0052] ステップＳ１１０６で、ホバリング状態でリーダーＵＡＶ１４を待機させるように制御し、ステップＳ１１０２へ移行する。

[0053] ステップＳ１１０８で、第１制御データを

$$\mathbf{u} = \kappa \mathbf{T}$$

の計算により求める。第１制御データｕは、飛行コマンド変換部３４においてリーダーＵＡＶ１４への飛行指令として使われる。

[0054] κ

はフィードバック制御におけるゲインパラメータであり、ユーザが状況に応じて設定する。第１制御データｕが計算されると、飛行コマンド変換部３４に渡される（図６にはＹと記した）。

[0055] この反復を続けることによりリーダーＵＡＶ１４は目標地の点ｐに近づき、||Ｔ||≦ΔＬを満たすとき、リーダーＵＡＶ１４が目標地に到達したと判定してホバリング状態になる。

[0056] ステップＳ１１００で、位置制御の処理を停止するかを判定し、処理を停止する場合にはリーダー位置制御部３２の処理を終了し、終了しない場合にはステップＳ１１０２に戻って処理を繰り返す。

[0057] 以上の処理によって、リーダー位置制御部３２は、リーダーＵＡＶ１４の現在位置ｅから目標地の点ｐまでの距離||Ｔ||に応じて第１制御データｕを出力する。

[0058] 次に、ステップＳ１０４の飛行コマンド変換部３４の飛行コマンド変換処理の詳細について説明する。

[0059] 飛行コマンド変換部３４の処理により、リーダーＵＡＶ１４について、リーダー位置制御部３２より与えられる制御データｕとリーダー位置検出部３０で得た方位θを、リーダーＵＡＶ１４に応じて飛行コマンドの飛行指令データへ変換して通信部５０から無線経由で指令する。ＵＡＶ１４への飛行コマンドには様々なデータ形式が存在するが、本実施形態では、市販製品のAR Drone 2.0を例にした場合を示す。ただし、それ以外のＵＡＶ１４の飛行を制御する場合にも、本実施形態を利用できることは言うまでもない。また、以下はリーダーＵＡＶ１４の場合を例に説明するが、リーダーＵＡＶ１４と同様に、複数のフォロワーＵＡＶ１５の各々についても、第１制御データu_iと方位角θ_iとを飛行指令データに変換して制御する。

[0060] 図７は飛行コマンド変換部３４の処理のフロー図である。飛行コマンド変換部３４は処理を開始すると、ステップＳ１２００で、更新された制御データｕと、算出された方位角θとの入力を受け付ける。

[0061] ステップＳ１２０２で、制御データｕと方位角θとの組み合わせを、リーダーＵＡＶ１４へ送信するための飛行指令データへ変換する。リーダーＵＡＶ１４への飛行指令データは、機体に設定されたＸ軸周りの回転速度V_x、Ｙ軸周りの回転速度V_y、Ｚ軸に沿った速度V_zと、Ｚ軸周りの回転速度V_θになる。制御データｕが$u=(u_x, u_y, u_z)$と与えられるとする。ＵＡＶ１４では、Ｘ軸周りの回転がＹ軸の並進運動を生み出し、Ｙ軸周りの回転がＸ軸の並進運動を生み出すため、本処理では、リーダーＵＡＶ１４に与える飛行指令データを以下（１）式により変換する。

[0062] [数1]

$$V_x = \alpha_x u_y, \quad V_y = \alpha_y u_x, \quad V_z = \alpha_z u_z, \quad V_\theta = \alpha_\theta \theta,$$

・・・（１）

[0063] 係数α_x、α_y、α_z、α_θはAR Drone 2.0が扱うことができる変換係数であり、パラメータとしてユーザが決めてよく、例えば、$\alpha_x=\alpha_y=\alpha_z=\alpha_\theta=0.1$と与える。

[0064] ステップＳ１２０４で、通信部５０を介して無線通信により（１）式で算出した飛行指令データをＵＡＶ１４へ送信する。

[0065] 本処理は、リーダー位置制御部３２で得た制御データｕとリーダー位置検出部３０で得た方位角θが与えられるたびに、（１）式で算出した飛行指令データをリーダーＵＡＶ１４へ送り続ける。図５で示したように、方位角θを送出することにより、目標地の点ｐに対するリーダーＵＡＶ１４の向きはマーカーの点ａとマーカーの点ｂは点Ａと点Ｂとに一致するように補正される。

[0066] 図８はフォロワー位置検出部４０の処理のフロー図である。図８において、フォロワーＵＡＶ１５＃ｉの位置を検出する。ｉ＝１の場合がフォロワーＵＡＶ１５＃１に関するフォロワー位置検出部４０の処理フローであり、ｉ＝２の場合がフォロワーＵＡＶ１５＃２に関するフォロワー位置検出部４０の処理フローである。

[0067] フォロワー位置検出部４０は処理を開始すると、ステップＳ１３００で、フォロワーＵＡＶ１５＃ｉに対して、トレイル・フォーメーションにおける目標地の３次元座標p_iを設定する。点p_iはリーダーＵＡＶ１４の現在位置ｅから点ｃと点ｄを結ぶ第２線分の延長線上に距離L_iだけ離れた座標値とする。つまり、リーダーＵＡＶ１４の第１線分及び第２線分の交点ｅから、第２線分の延長線上に距離L_iだけ離れた座標により定まる。リーダーＵＡＶ１４の運動に従ってフォーメーション飛行するため機体座標系が世界座標系と考えると、$p_i=e+(-L_i, 0, 0)$，$L_i>0$と与える。図１７（Ａ）のトレイル・フォーメーションで示したように、リーダーＵＡＶ１４を先頭にして飛行する場合、フォロワーＵＡＶ１５＃１については$p_1=e+(-L_1$

，０，０）と設定し、フォロワーＵＡＶ１５＃２についてはｐ$_2$＝ｅ＋（－Ｌ$_2$，０，０）と設定する（リーダーＵＡＶ１４の進行方向をＸ軸の正の方向とするため、後方から追従して飛行するフォロワーＵＡＶ１５の位置はＸ軸の負の値になる）。ただし、衝突防止のため、フォロワーＵＡＶ１５＃１とフォロワーＵＡＶ１５＃２が十分に離れてフォーメーションを形成するようにＬ$_2$＞＞Ｌ$_1$とする。このようにフォロワーＵＡＶ１５＃ｉの距離を所定の関係となるように設定する。図９左に、リーダーＵＡＶ１４とフォロワーＵＡＶ１５＃ｉの初期状態での位置関係を示す。

[0068] ステップＳ１３０２で、フォロワーＵＡＶ１５＃ｉに装着したマーカー点ａ$_i$、点ｂ$_i$、点ｃ$_i$、及び点ｄ$_i$を位置計測センサ１０により検出して、交点ｅ$_i$の位置を算出する。点ｅ$_i$の座標はフォロワーＵＡＶ１５＃ｉの現在位置となる。

[0069] 次に、ステップＳ１３０４で、図９左に示すように、フォロワーＵＡＶ１５＃ｉの現在位置（点ｅ$_i$）から目標地（点ｐ$_i$）までのベクトルＴ$_i$を、Ｔ$_i$＝ｐ$_i$－ｅ$_i$の計算により求める。

[0070] ステップＳ１３０６で、点ａ$_i$から点ｂ$_i$へのベクトルａ$_i$－ｂ$_i$がベクトルＴ$_i$となす回転角θ_i（方位角）をベクトル内積の関係を利用して算出する。

[0071] ステップＳ１３０８で、位置検出の処理を停止するかを判定し、処理を停止する場合にはフォロワー位置検出部４０の処理を終了し、終了しない場合にはステップＳ１３０２に戻って処理を繰り返す。

[0072] 以上の処理により、フォロワー位置検出部４０ではフォロワーＵＡＶ１５＃ｉの現在位置（点ｅ$_i$）と、フォロワーＵＡＶ１５＃ｉの現在位置（点ｅ$_i$）から目標地（点ｐ$_i$）までのベクトルＴ$_i$と、フォロワーＵＡＶ１５＃ｉの方位角θ_iを算出する。

[0073] 図１０はフォーメーション制御部４２の処理のフロー図である。図１０において、フォロワーＵＡＶ１５＃ｉの図９右のフォーメーションとなるように制御する。ｉ＝１の場合がフォロワーＵＡＶ１５＃１に関するフォーメーション制御部４２の処理フローであり、ｉ＝２の場合がフォロワーＵＡＶ１

５＃２に関するフォーメーション制御部４２の処理フローである。

[0074] フォーメーション制御部４２は処理を開始すると、ステップＳ１４００で、許容距離を指定する。許容距離とは、フォロワーＵＡＶ１５＃ｉの現在位置e_iが目標地の点p_iに到達したかどうかを判定するための距離ΔL_iである。ＵＡＶの飛行には空気抵抗によるゆらぎが影響を与えるため、許容距離ΔL_iの例として１０センチメートルとする。

[0075] フォロワー位置検出部４０において、フォロワーＵＡＶ１５＃ｉの現在位置（点e_i）が位置計測センサ１０を使って時系列に得られており、現在位置を取得するたびにステップＳ１４０２に与えられる（図９にはＺと記した）。

[0076] ステップＳ１４０２で、与えられた現在位置のデータから、フォロワーＵＡＶ１５＃ｉの現在位置e_iから目標地の点p_iまでの距離$||T_i||$を算出する。

[0077] ステップＳ１４０４で、距離$||T_i||$が許容距離ΔL以下（$||T_i|| \leqq \Delta L$）であるか否かを判定する。$||T_i|| \leqq \Delta L$であればステップＳ１４０６へ移行する。$||T_i|| \leqq \Delta L$でなく、$||T|| > \Delta L$であれば運動を制御するためステップＳ１４０８へ移行する。

[0078] ステップＳ１４０６で、ホバリング状態でフォロワーＵＡＶ１５＃ｉを待機させるように制御し、ステップＳ１４０２へ移行する。

[0079] ステップＳ１４０８で、第２制御データを

$$\mathbf{u}_i = \kappa \mathbf{T}_i$$

の計算により求める。第２制御データu_iは、飛行コマンド変換部３４においてフォロワーＵＡＶ１５＃ｉへの飛行指令として使われる。

[0080] κ

はフィードバック制御におけるゲインパラメータであり、ユーザが状況に応じて設定する。第２制御データu_iが計算されると、飛行コマンド変換部３４に渡される（図１０にはＹと記した）。

[0081] この反復を続けることによりフォロワーＵＡＶ１５＃ｉは目標地の点p_iに近づくことになり、$||T_i||\leqq\Delta L$を満たすとき図９右のフォーメーションに従って飛行する。

[0082] 以上の処理によって、フォーメーション制御部４２は、フォロワーＵＡＶ１５＃ｉの現在位置e_iから目標地の点p_iまでの距離$||T_i||$に応じて制御データu_iを出力する。

[0083] 以上により、本実施形態は、位置計測センサ１０によってリーダーＵＡＶ１４とフォロワーＵＡＶ１５＃ｉの位置と方位を算出し、トレイル・フォーメーションの編隊で飛行することができる。さらに、リーダーＵＡＶ１４の目標地の位置ｐを空間経路に沿って間隔を空けて空間中に設定することで、トレイル・フォーメーションの編隊がその軌跡に沿って飛行することができる。

[0084] 以上説明したように、第１の実施形態に係る飛行制御装置によれば、複数台のＵＡＶが編隊を組んで円滑かつ安定的に飛行させるように制御できる。

[0085] ＜本発明の第２の実施形態に係る飛行制御装置の構成及び作用＞

本発明の第２の実施形態は、上記図１の第１の実施形態の構成により、図１７（Ｂ）のリーダー・フォロワー編隊において、リーダーＵＡＶ１４を中心にフォロワーＵＡＶ１５が横一列に並んで飛行するアブレストをフォーメーションとした編隊飛行の制御の実施形態である．本実施形態では、アブレスト・フォーメーションに応じてフォロワーＵＡＶ１５の飛行を制御する処理が第１の実施形態と異なる。以降では、第１の実施形態との差分のみを説明する。

[0086] 本実施形態のフォロワー位置検出部４０は図８のフローに従う。

[0087] フォロワー位置検出部４０は処理を開始すると、ステップＳ１３００で、

アブレスト・フォーメーションにおけるフォロワーＵＡＶ１５＃ｉの目標地の３次元座標p_iを設定する。点p_iはリーダーＵＡＶ１４の現在位置ｅから点ａと点ｂを結ぶ第１線分の延長線上に距離M_iだけ離れた座標値とする。つまり、リーダーＵＡＶ１４の第１線分及び第２線分の交点ｅから、第１線分の延長線上に距離M_iだけ離れた座標により定まる。リーダーＵＡＶ１４の運動に従ってフォーメーション飛行するため機体座標系が世界座標系と考えると、$p_i = e + (0, M_i, 0)$，$L_i > 0$と与える。図１７（Ｂ）のアブレスト・フォーメーションで示したように、リーダーＵＡＶ１４を中心にして飛行する場合、フォロワーＵＡＶ１５＃１については$p_1 = e + (0, M_1, 0)$と設定し、フォロワーＵＡＶ１５＃２については$p_2 = e + (0, -M_2, 0)$，$M_2 > 0$と設定する。

[0088] 一般的には、リーダーＵＡＶ１４とフォロワーＵＡＶ１５＃ｉの位置関係は、図１１上で示される。ステップＳ１３０２で、フォロワーＵＡＶ１５＃ｉに装着したマーカー点a_i、点b_i、点c_i、及び点d_iを位置計測センサ１０により検出して、交点e_iの位置を算出する。点e_iの座標はフォロワーＵＡＶ１５＃ｉの現在位置となる。

[0089] ステップＳ１３０４で、図１１上に示すように、フォロワーＵＡＶ１５＃ｉの現在位置（点e_i）から目標地（点p_i）までのベクトルT_iを、$T_i = p_i - e_i$の計算により求める。

[0090] ステップＳ１３０６で、点c_iから点d_iへのベクトル$c_i - d_i$がベクトルT_iとなす回転角θ_i（方位角）をベクトル内積の関係を利用して算出する。

[0091] 以上の処理により、フォロワー位置検出部４０ではフォロワーＵＡＶ１５＃ｉの現在位置（点e_i）と、フォロワーＵＡＶ１５＃ｉの現在位置（点e_i）から目標地（点p_i）までのベクトルT_iと、フォロワーＵＡＶ１５＃ｉの方位角θ_iを算出し、第１の実施形態と同様にフォーメーション制御部４２の処理と飛行コマンド変換部３４の処理を反復することにより、図１１下に示すアブレスト・フォーメーションの編隊で飛行することができる。さらに、リーダーＵＡＶ１４の目標地の位置ｐを空間経路に沿って間隔を空けて空間

中に設定することで、アブレスト・フォーメーションの編隊がその軌跡に沿って飛行することができる。

[0092] ＜本発明の第３の実施形態に係る飛行制御装置の構成及び作用＞

本発明の第３の実施形態は、上記図１の第１の実施形態の構成により、図１７（Ｃ）のリーダー・フォロワー編隊において、リーダーＵＡＶ１４を先頭にフォロワーＵＡＶ１５が三角形を形成するように飛行するデルタをフォーメーションとした編隊飛行の制御の実施形態である．本実施形態では、デルタ・フォーメーションに応じてフォロワーＵＡＶ１５の飛行を制御する処理が第１の実施形態と異なる。以降では、第１の実施形態との差分のみを説明する。

[0093] 本実施形態のフォロワー位置検出部４０は図８のフローに従う。

[0094] フォロワー位置検出部４０は処理を開始すると、ステップＳ１３００で、アブレスト・フォーメーションにおけるフォロワーＵＡＶ１５＃ｉの目標地の３次元座標p_iを設定する。点p_iは、リーダーＵＡＶ１４の現在位置ｅから点ｃと点ｄを結ぶ第２線分の延長線上に距離L_iだけ離れた座標と、点ａと点ｂを結ぶ第１線分の延長線上に距離M_iだけ離れた座標とから定まる座標値とする。つまり、リーダーＵＡＶ１４の第１線分及び第２線分の交点から、第１線分の延長線上に距離L_iだけ離れた座標と第２線分の延長線上に距離M_iだけ離れた座標とにより定まる。リーダーＵＡＶ１４の運動に従ってフォーメーション飛行するため機体座標系が世界座標系と考えると、$p_i = e + (-L_i, M_i, 0)$，$L_i > 0$と与える。図１７（Ｃ）のデルタ・フォーメーションで示したように、リーダーＵＡＶ１４を先頭にして飛行する場合、フォロワーＵＡＶ１５＃１については$p_1 = e + (-L_1, M_1, 0)$，$M_1 > 0$と設定し、フォロワーＵＡＶ１５＃２については$p_2 = e + (-L_2, -M_2, 0)$，$M_2 > 0$，$L_1 = L_2$と設定する。

[0095] 一般的には、リーダーＵＡＶ１４とフォロワーＵＡＶ１５＃ｉの位置関係は、図１２上で示される。ステップＳ１３０２で、フォロワーＵＡＶ１５＃ｉに装着したマーカー点a_i、点b_i、点c_i、及び点d_iを位置計測センサ１０

により検出して、交点e_iの位置を算出する。点e_iの座標はフォロワーＵＡＶ１５＃ｉの現在位置となる。

[0096] ステップＳ１３０４で、図１２上に示すように、フォロワーＵＡＶ１５＃ｉの現在位置（点e_i）から目標地（点p_i）までのベクトルT_iを、$T_i = p_i - e_i$の計算により求める。

[0097] ステップＳ１３０６で、点c_iから点d_iへのベクトル$c_i - d_i$がベクトルT_iとなす回転角θ_i（方位角）をベクトル内積の関係を利用して算出する。

[0098] 以上の処理により、フォロワー位置検出部４０ではフォロワーＵＡＶ１５＃ｉの現在位置（点e_i）と、フォロワーＵＡＶ１５＃ｉの現在位置（点e_i）から目標地（点p_i）までのベクトルT_iと、フォロワーＵＡＶ１５＃ｉの方位角θ_iを算出し、第１の実施形態と同様にフォーメーション制御部４２の処理と飛行コマンド変換部３４の処理を反復することにより、図１３に示すデルタ・フォーメーションの編隊で飛行することができる。さらに、リーダーＵＡＶ１４の目標地の位置ｐを空間経路に沿って間隔を空けて空間中に設定することで、デルタ・フォーメーションの編隊がその軌跡に沿って飛行することができる。

[0099] ＜本発明の第４の実施形態に係る飛行制御装置の構成及び作用＞

本発明の第４の実施形態は、上記図１の第１～３の実施形態の構成において、空間中において多様な幾何パターンを描くように編隊飛行を制御する例である。図１４に幾何パターンに基づいたリーダーＵＡＶ１４の飛行経路の例を示す。図１４（Ａ）では、上記図１の第１～３の実施形態の構成において、Ａ地点からＢ地点への直線飛行とＢ地点からＡ地点への直線飛行を連続するようにリーダーＵＡＶ１４の目標地ｐを設定して飛行制御することにより、リーダーＵＡＶ１４及びフォロワーＵＡＶ１５＃ｉはＡ地点とＢ地点間の往復路を飛行する。

[0100] 図１４（Ｂ）では、上記図１の第１～３の実施形態の構成において、Ａ地点からＢ地点への直線飛行、Ｂ地点からＣ地点への直線飛行、並びにＣ地点からＡ地点への直線飛行を連続するようにリーダーＵＡＶ１４の目標地ｐを

設定して飛行制御することにより、リーダーＵＡＶ１４及びフォロワーＵＡＶ１５＃ｉはＡ地点、Ｂ地点、Ｃ地点で形成される三角形状の周回を飛行する。

[0101] 図１４（Ｃ）では、上記図１の第１～３の実施形態の構成において、Ａ地点からＢ地点への直線飛行、Ｂ地点からＣ地点への直線飛行、Ｃ地点からＤ地点への直線飛行、並びにＤ地点からＡ地点への直線飛行を連続するようにリーダーＵＡＶ１４の目標地ｐを設定して飛行制御することにより、リーダーＵＡＶ１４及びフォロワーＵＡＶ１５＃ｉはＡ地点、Ｂ地点、Ｃ地点、Ｄ地点で形成される四角形状の周回を飛行する。

[0102] 図１４（Ｄ）では、上記図１の第１～３の実施形態の構成において、Ａ地点からＢ地点への直線飛行、Ｂ地点からＣ地点への直線飛行、Ｃ地点からＤ地点への直線飛行、Ｄ地点からＥ地点への直線飛行、並びにＥ地点からＡ地点への直線飛行を連続するようにリーダーＵＡＶ１４の目標地ｐを設定して飛行制御することにより、リーダーＵＡＶ１４及びフォロワーＵＡＶ１５＃ｉはＡ地点、Ｂ地点、Ｃ地点、Ｄ地点、Ｅ地点で形成される五角形状を描くように飛行する。あるいは、Ａ地点からＤ地点への直線飛行、Ｄ地点からＢ地点への直線飛行、Ｂ地点からＥ地点への直線飛行、Ｅ地点からＣ地点への直線飛行、並びにＣ地点からＡ地点への直線飛行を連続するようにリーダーＵＡＶ１４の目標地ｐを設定して飛行制御することにより、リーダーＵＡＶ１４及びフォロワーＵＡＶ１５＃ｉはＡ地点、Ｄ地点、Ｂ地点、Ｅ地点、Ｃ地点で形成される五角形状の周回を飛行する。第１～３の実施形態は直線飛行を基本にして加速、等速、減速の制御が行われるため、直線飛行で描く幾何パターンであれば任意の幾何形状の経路に沿って飛行することができる。

[0103] なお、本発明は、上述した実施の形態に限定されるものではなく、この発明の要旨を逸脱しない範囲内で様々な変形や応用が可能である。

[0104] 例えば、上述した各実施形態では、飛行制御装置により、リーダーＵＡＶ１４とフォロワーＵＡＶ１５＃ｉとを制御する場合を例に説明したが、これに限定されるものではなく、飛行制御システムとして、リーダー飛行制御装

置とフォロワー飛行制御装置とを構成し、リーダーＵＡＶ１４とフォロワーＵＡＶ１５＃ｉとをそれぞれの装置によって制御するようにしてもよい。

符号の説明

[0105] １０ 位置計測センサ

１２ 目標地

２０ 演算部

３０ リーダー位置検出部

３２ リーダー位置制御部

３４ 飛行コマンド変換部

４０ フォロワー位置検出部

４２ フォーメーション制御部

５０ 通信部

１００飛行制御装置

請求の範囲

[請求項1] 複数のＵＡＶ（Unmanned Aerial Vehicle）の編隊飛行を制御し、前記編隊飛行を先導するリーダーＵＡＶと前記リーダーＵＡＶに従って編隊を形成する複数のフォロワーＵＡＶの各々を制御する飛行制御装置であって、

前記リーダーＵＡＶと前記複数のフォロワーＵＡＶの各々とに付与され、かつ、マーカー間の距離が既知の複数のマーカーの各々の三次元座標を計測する位置計測センサと、

前記位置計測センサによって計測された前記リーダーＵＡＶの前記マーカーの各々の三次元座標と、予め設定された前記リーダーＵＡＶの目標地の目標点とに基づいて、前記リーダーＵＡＶについて、前記マーカーの各々の三次元座標を結ぶ第１線分及び第２線分の交点、前記交点からの前記目標点までのベクトル、及びグローバル座標系における前記目標点に対する前記マーカーの各々の三次元座標を結んだ前記第１線分の方位角を算出するリーダー位置検出部と、

前記リーダーＵＡＶの前記目標点までのベクトルから求まる距離に基づいて、前記リーダーＵＡＶの位置を制御するための第１制御データを更新するリーダー位置制御部と、

前記複数のフォロワーＵＡＶの各々について、前記位置計測センサによって計測された前記フォロワーＵＡＶの前記マーカーの各々の三次元座標と、前記リーダーＵＡＶの第１線分及び第２線分の交点から、前記第１線分又は前記第２線分の延長線上に予め定められた距離だけ離れた座標により定まる、前記フォロワーＵＡＶの目標点とに基づいて、前記フォロワーＵＡＶについて、前記マーカーの各々の三次元座標を結ぶ第１線分及び第２線分の交点、前記交点からの前記目標点までのベクトル、及びグローバル座標系における前記目標点に対する前記マーカーの各々の三次元座標を結んだ前記第１線分の方位角を算出するフォロワー位置検出部と、

前記複数のフォロワーＵＡＶの各々について、前記フォロワーＵＡＶの前記目標点までのベクトルから求まる距離に基づいて、前記フォロワーＵＡＶの位置を制御するための第２制御データを更新するフォーメーション制御部と、

前記リーダーＵＡＶについて更新された前記第１制御データと、前記リーダーＵＡＶについて算出された前記方位角とに基づいて、前記リーダーＵＡＶにおける、飛行指令データを算出し、算出した前記飛行指令データに基づいて前記リーダーＵＡＶの運動を制御し、前記複数のフォロワーＵＡＶの各々について、前記フォロワーＵＡＶについて更新された前記第２制御データと、前記フォロワーＵＡＶについて算出された前記方位角とに基づいて、前記フォロワーＵＡＶにおける、飛行指令データを算出し、算出した前記飛行指令データに基づいて前記フォロワーＵＡＶの運動を制御する飛行コマンド変換部と、

を含む飛行制御装置。

[請求項2] ｉ台目の前記フォロワーＵＡＶについて予め定められた距離は、ｉ－１台目の前記フォロワーＵＡＶの距離に対し所定の関係となるように定められる請求項１に記載の飛行制御装置。

[請求項3] 前記フォロワーＵＡＶの目標点は、

前記リーダーＵＡＶの第１線分及び第２線分の交点から、前記第１線分の延長線上に予め定められた距離だけ離れた座標により定まるか、

前記リーダーＵＡＶの第１線分及び第２線分の交点から、前記第２線分の延長線上に予め定められた距離だけ離れた座標により定まるか、

又は

前記リーダーＵＡＶの第１線分及び第２線分の交点から、前記第１線分の延長線上に予め定められた距離だけ離れた座標と、前記第２線分の延長線上に予め定められた距離だけ離れた座標とにより定まる請求項１または請求項２に記載の飛行制御装置。

[請求項4] 複数のＵＡＶ（Unmanned Aerial Vehicle）の編隊飛行を制御し、

前記編隊飛行を先導するリーダーＵＡＶと前記リーダーＵＡＶに従って編隊を形成する複数のフォロワーＵＡＶの各々を制御する飛行制御装置における飛行制御方法であって、

位置計測センサが、前記リーダーＵＡＶと前記複数のフォロワーＵＡＶの各々とに付与され、かつ、マーカー間の距離が既知の複数のマーカーの各々の三次元座標を計測するステップと、

リーダー位置検出部が、前記位置計測センサによって計測された前記リーダーＵＡＶの前記マーカーの各々の三次元座標と、予め設定された前記リーダーＵＡＶの目標地の目標点とに基づいて、前記リーダーＵＡＶについて、前記マーカーの各々の三次元座標を結ぶ第１線分及び第２線分の交点、前記交点からの前記目標点までのベクトル、及びグローバル座標系における前記目標点に対する前記マーカーの各々の三次元座標を結んだ前記第１線分の方位角を算出するステップと、

リーダー位置制御部が、前記リーダーＵＡＶの前記目標点までのベクトルから求まる距離に基づいて、前記リーダーＵＡＶの位置を制御するための第１制御データを更新するステップと、

飛行コマンド変換部が、前記リーダーＵＡＶについて更新された前記第１制御データと、前記リーダーＵＡＶについて算出された前記方位角とに基づいて、前記リーダーＵＡＶにおける、飛行指令データを算出し、算出した前記飛行指令データに基づいて前記リーダーＵＡＶの運動を制御するステップと、

フォロワー位置検出部が、前記複数のフォロワーＵＡＶの各々について、前記位置計測センサによって計測された前記フォロワーＵＡＶの前記マーカーの各々の三次元座標と、前記リーダーＵＡＶの第１線分及び第２線分の交点から、前記第１線分又は前記第２線分の延長線上に予め定められた距離だけ離れた座標により定まる、前記フォロワーＵＡＶの目標点とに基づいて、前記フォロワーＵＡＶについて、前記マーカーの各々の三次元座標を結ぶ第１線分及び第２線分の交点、

前記交点からの前記目標点までのベクトル、及びグローバル座標系における前記目標点に対する前記マーカーの各々の三次元座標を結んだ前記第１線分の方位角を算出するステップと、

フォーメーション制御部が、前記複数のフォロワーＵＡＶの各々について、前記フォロワーＵＡＶの前記目標点までのベクトルから求まる距離に基づいて、前記フォロワーＵＡＶの位置を制御するための第２制御データを更新するステップと、

前記飛行コマンド変換部が、前記複数のフォロワーＵＡＶの各々について、前記フォロワーＵＡＶについて更新された前記第２制御データと、前記フォロワーＵＡＶについて算出された前記方位角とに基づいて、前記フォロワーＵＡＶにおける、飛行指令データを算出し、算出した前記飛行指令データに基づいて前記フォロワーＵＡＶの運動を制御するステップと、

を含む飛行制御方法。

[請求項5] ｉ台目の前記フォロワーＵＡＶについて予め定められた距離は、ｉ－１台目の前記フォロワーＵＡＶの距離に対し所定の関係となるように定められる請求項４に記載の飛行制御方法。

[請求項6] 前記フォロワーＵＡＶの目標点は、

前記リーダーＵＡＶの第１線分及び第２線分の交点から、前記第１線分の延長線上に予め定められた距離だけ離れた座標により定まるか、

前記リーダーＵＡＶの第１線分及び第２線分の交点から、前記第２線分の延長線上に予め定められた距離だけ離れた座標により定まるか、

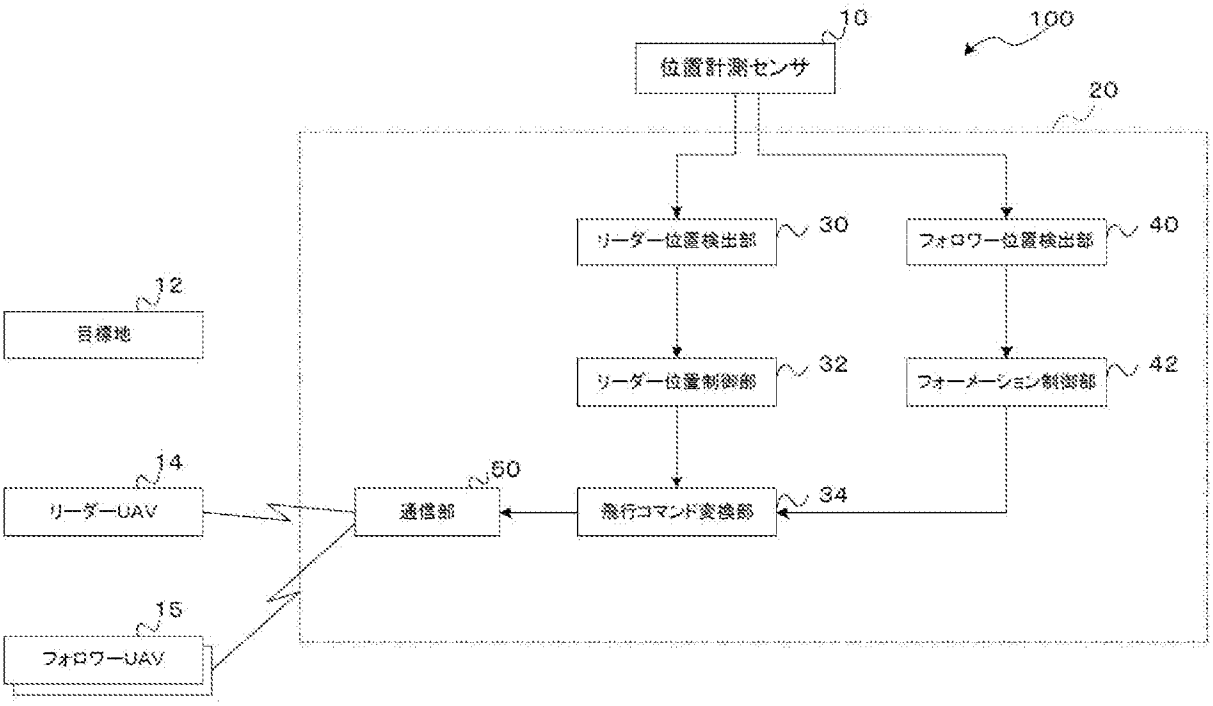
又は

前記リーダーＵＡＶの第１線分及び第２線分の交点から、前記第１線分の延長線上に予め定められた距離だけ離れた座標と、前記第２線分の延長線上に予め定められた距離だけ離れた座標とにより定まる請求項４または請求項５に記載の飛行制御方法。

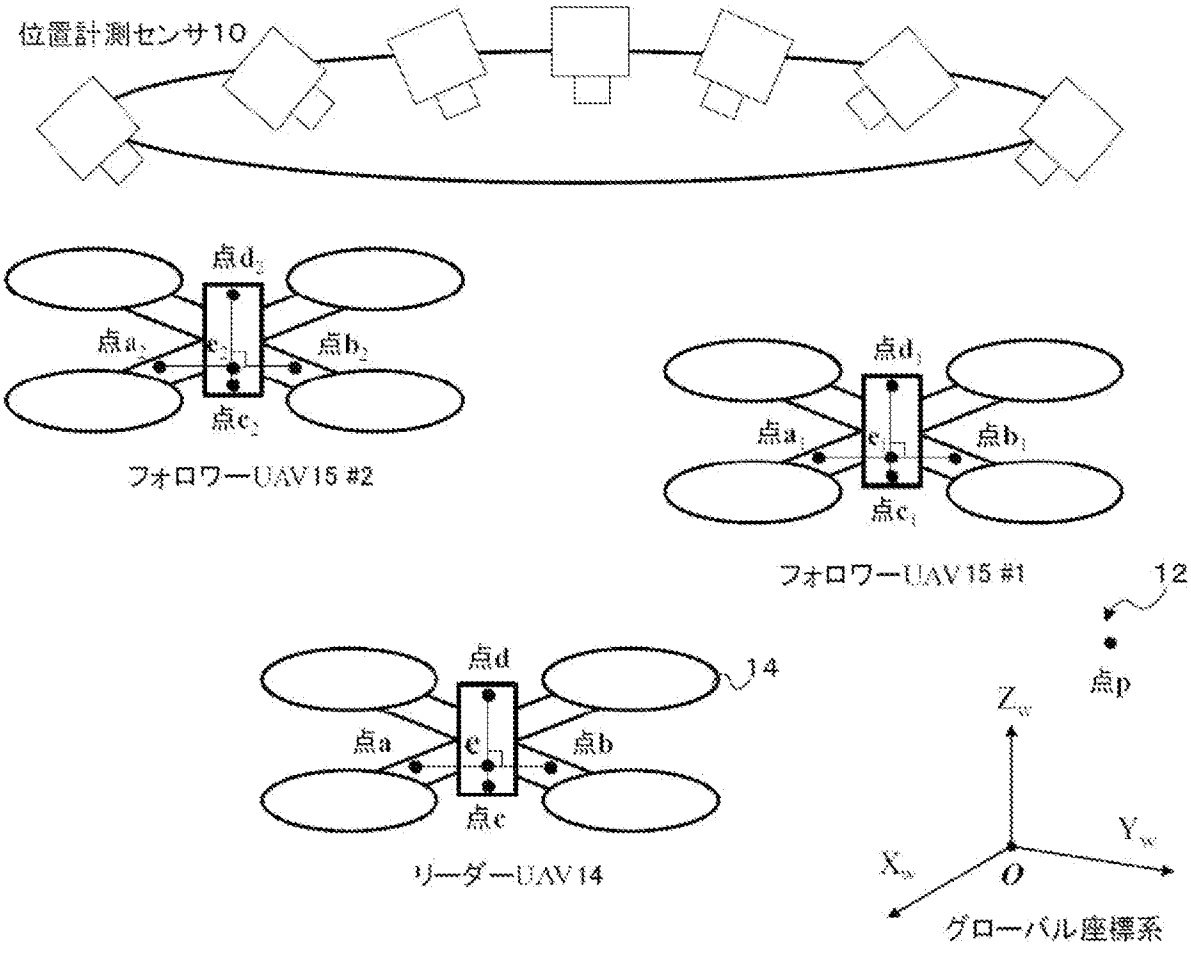
[請求項7] コンピュータを、請求項１～請求項３のいずれか１項に記載の飛行

制御装置の各部として機能させるためのプログラム。

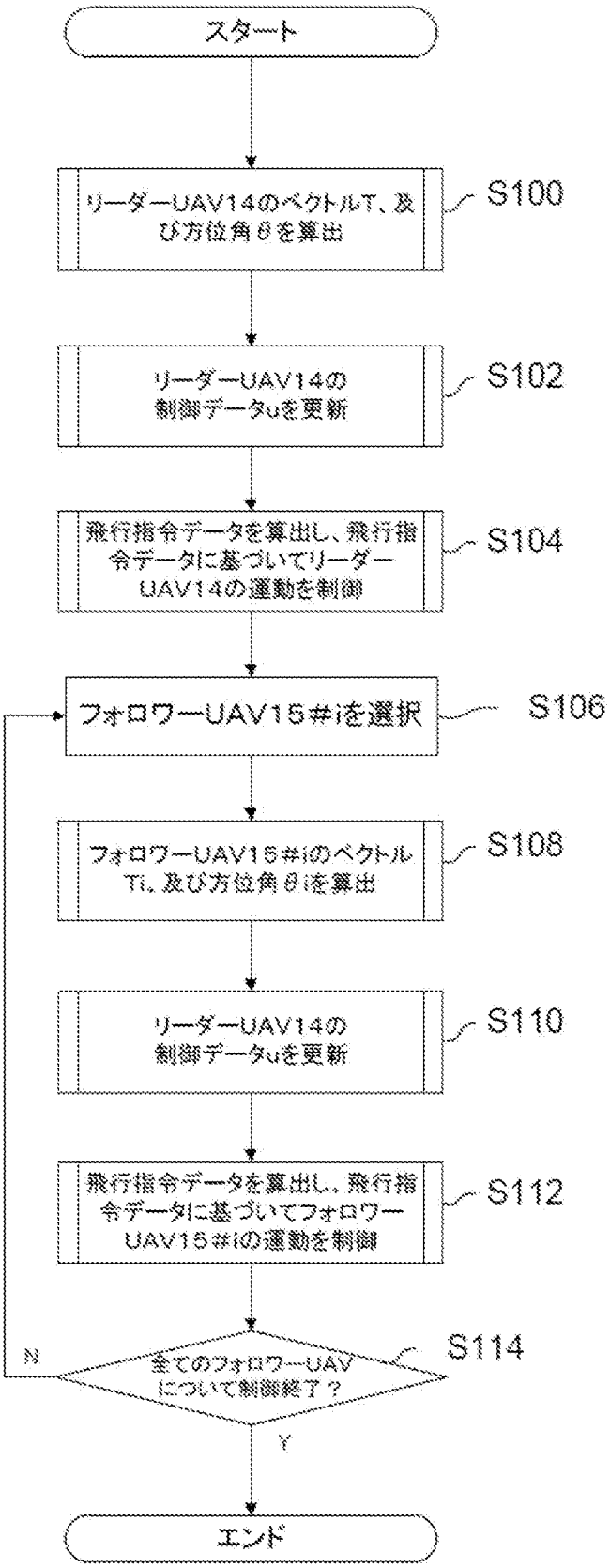
[図1]


10
100
位置計測センサ
20
リーダー位置検出部
30
フォロワー位置検出部
40
12
目標地
リーダー位置制御部
32
フォーメーション制御部
42
14
60
34
リーダーUAV
通信部
飛行コマンド変換部
16
フォロワーUAV

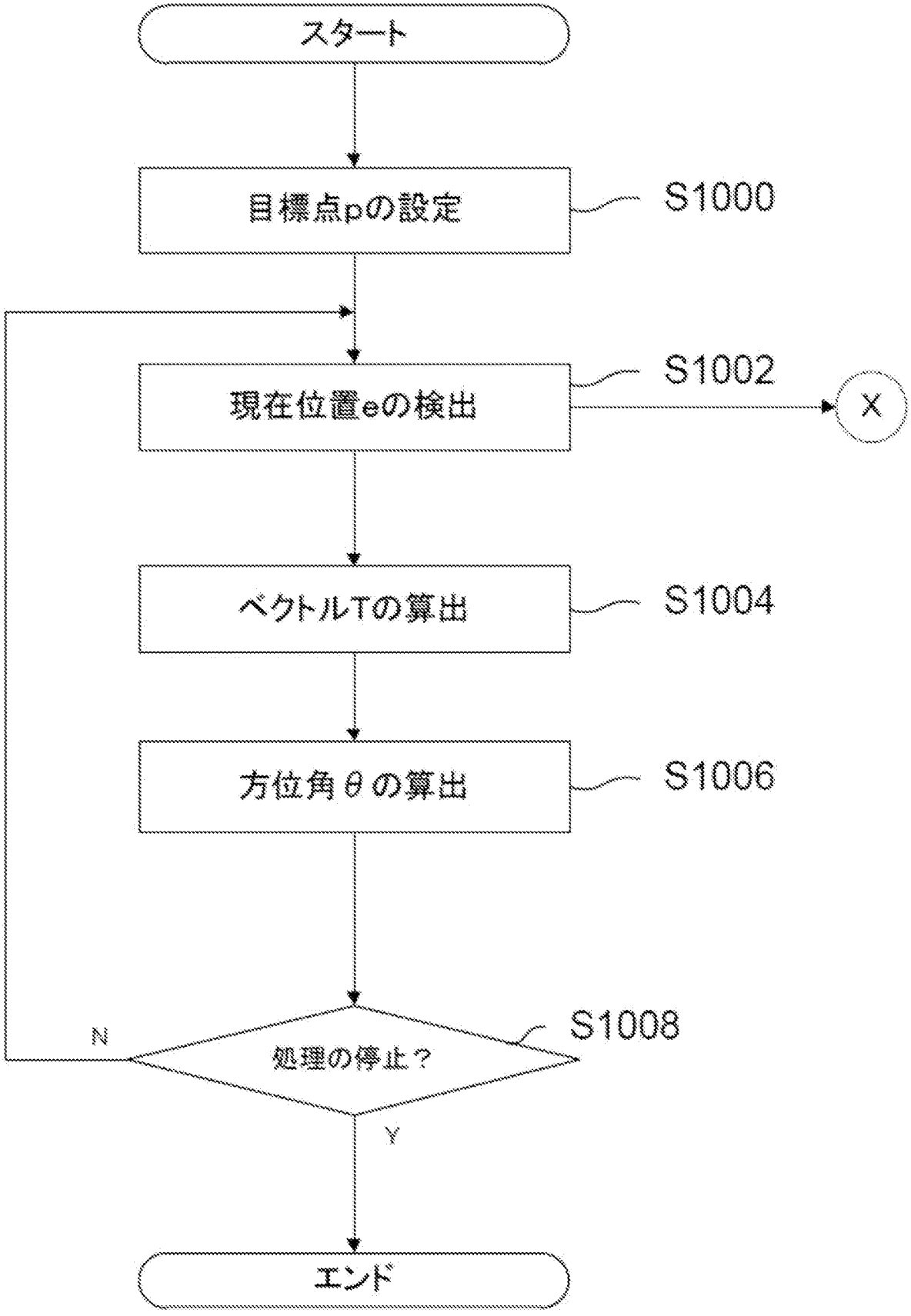
[図2]


位置計測センサ10
点d2
点a2
e2
点b2
点c2
フォロワーUAV16 #2
点d1
点a1
e1
点b1
点c1
フォロワーUAV16 #1
12
点p
14
点d
点a
e
点b
点c
リーダーUAV14
Zw
Yw
Xw
O
グローバル座標系

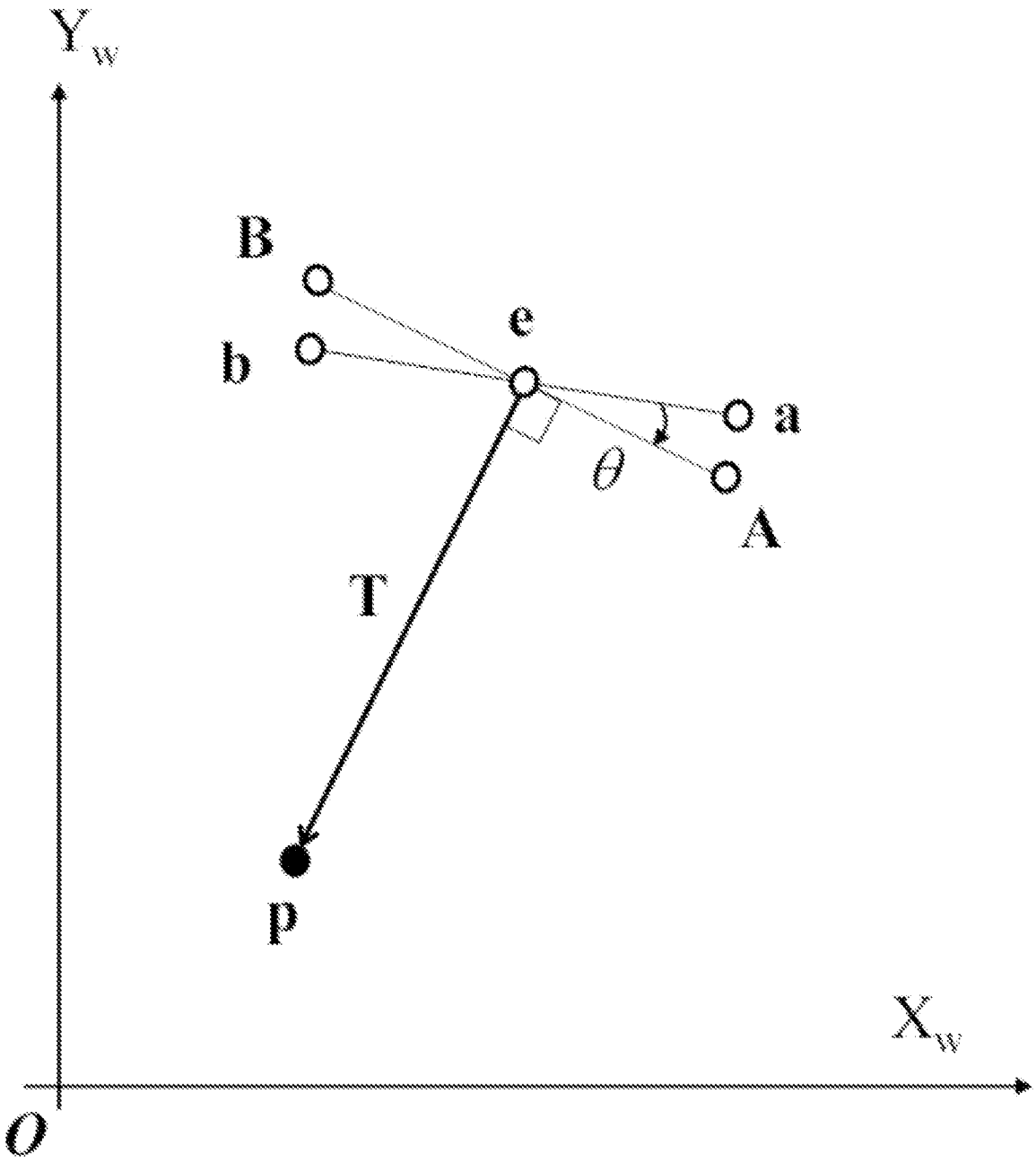
[図3]


スタート
リーダーUAV14のベクトルT、及び方位角θを算出
S100
リーダーUAV14の制御データuを更新
S102
飛行指令データを算出し、飛行指令データに基づいてリーダーUAV14の運動を制御
S104
フォロワーUAV15#iを選択
S106
フォロワーUAV15#iのベクトルTi、及び方位角θiを算出
S108
リーダーUAV14の制御データuを更新
S110
飛行指令データを算出し、飛行指令データに基づいてフォロワーUAV15#iの運動を制御
S112
全てのフォロワーUAVについて制御終了？
S114
N
Y
エンド

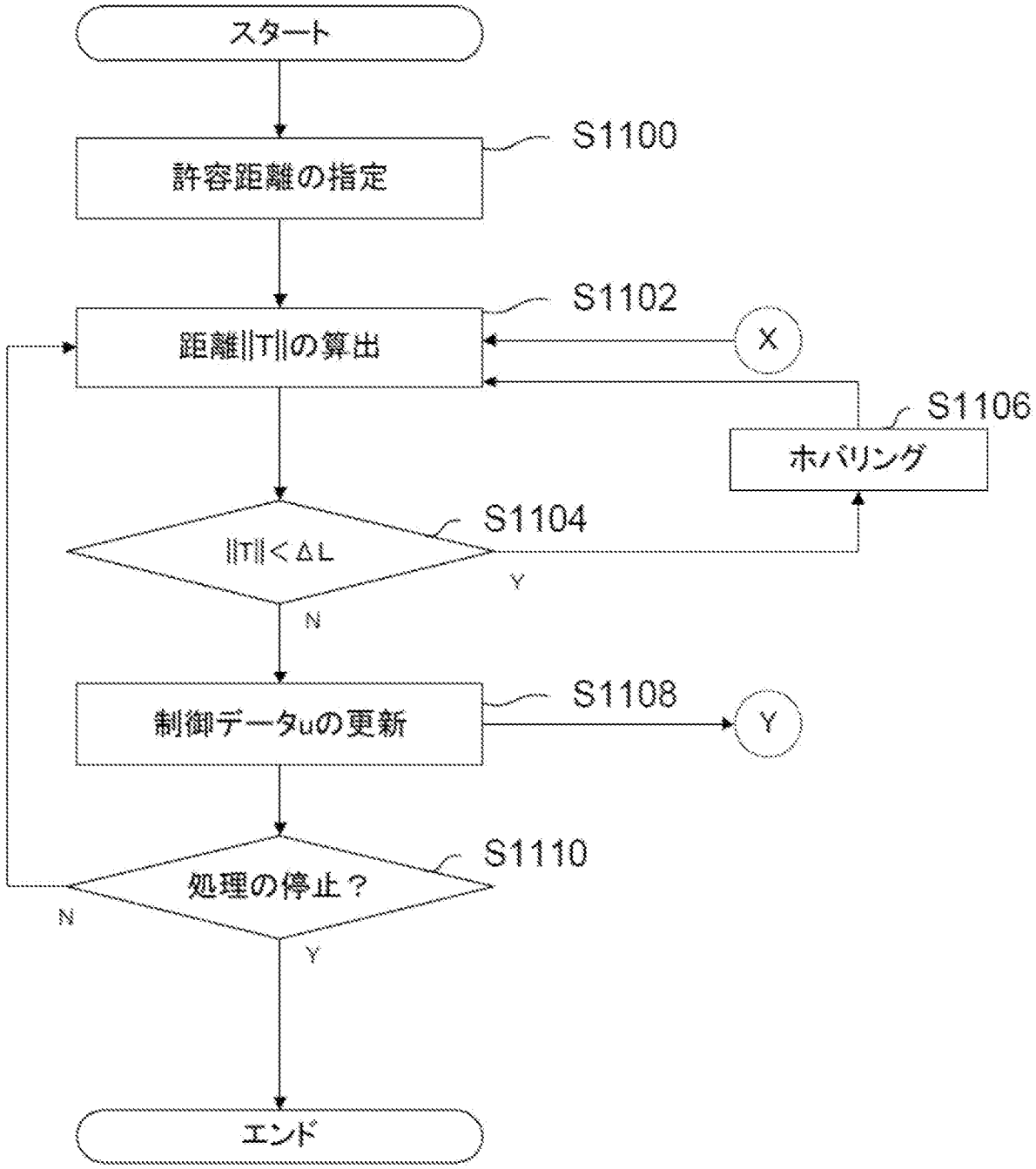
[図4]


スタート
目標点pの設定
S1000
現在位置eの検出
S1002
X
ベクトルTの算出
S1004
方位角θの算出
S1006
処理の停止？
S1008
N
Y
エンド

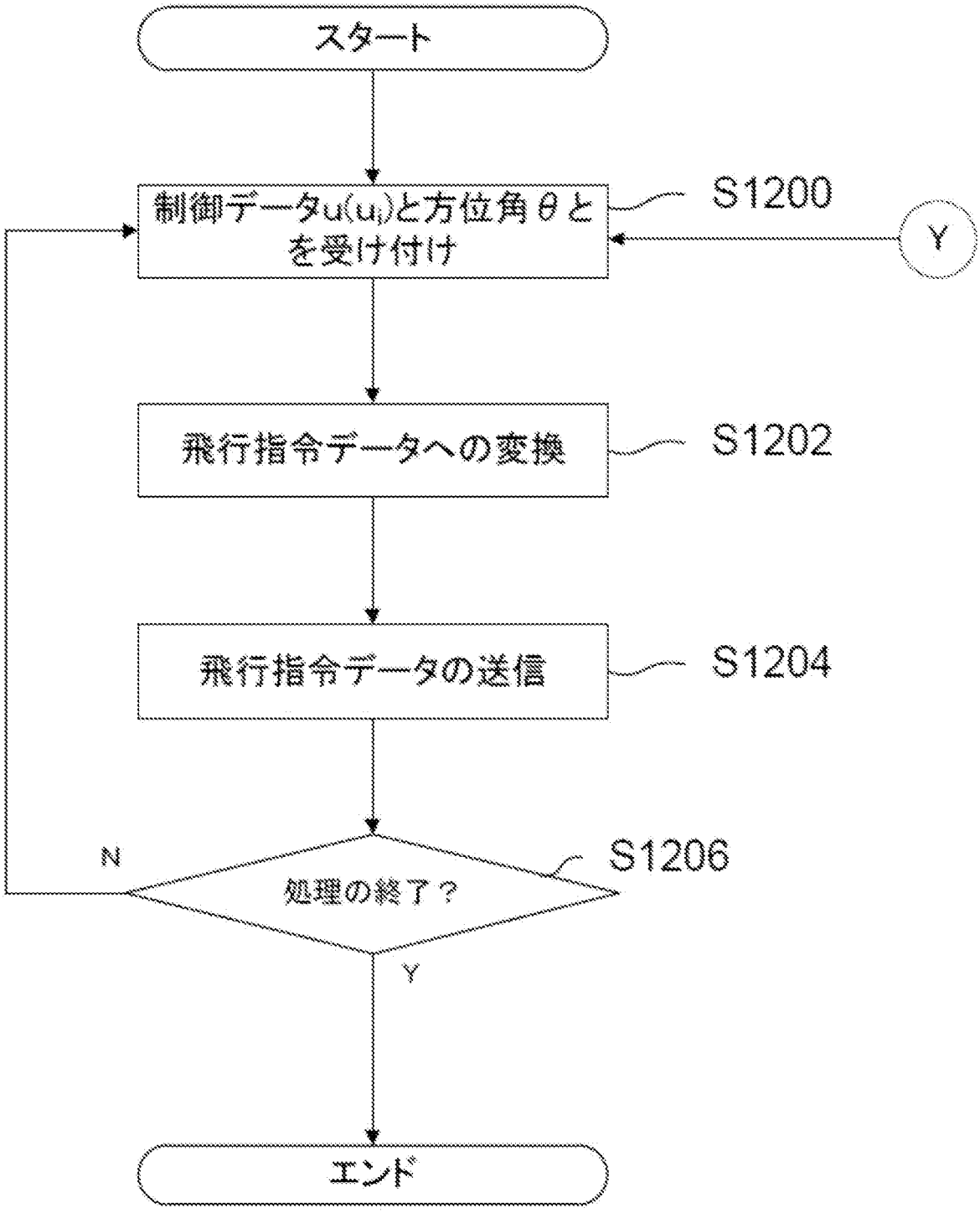
[図5]



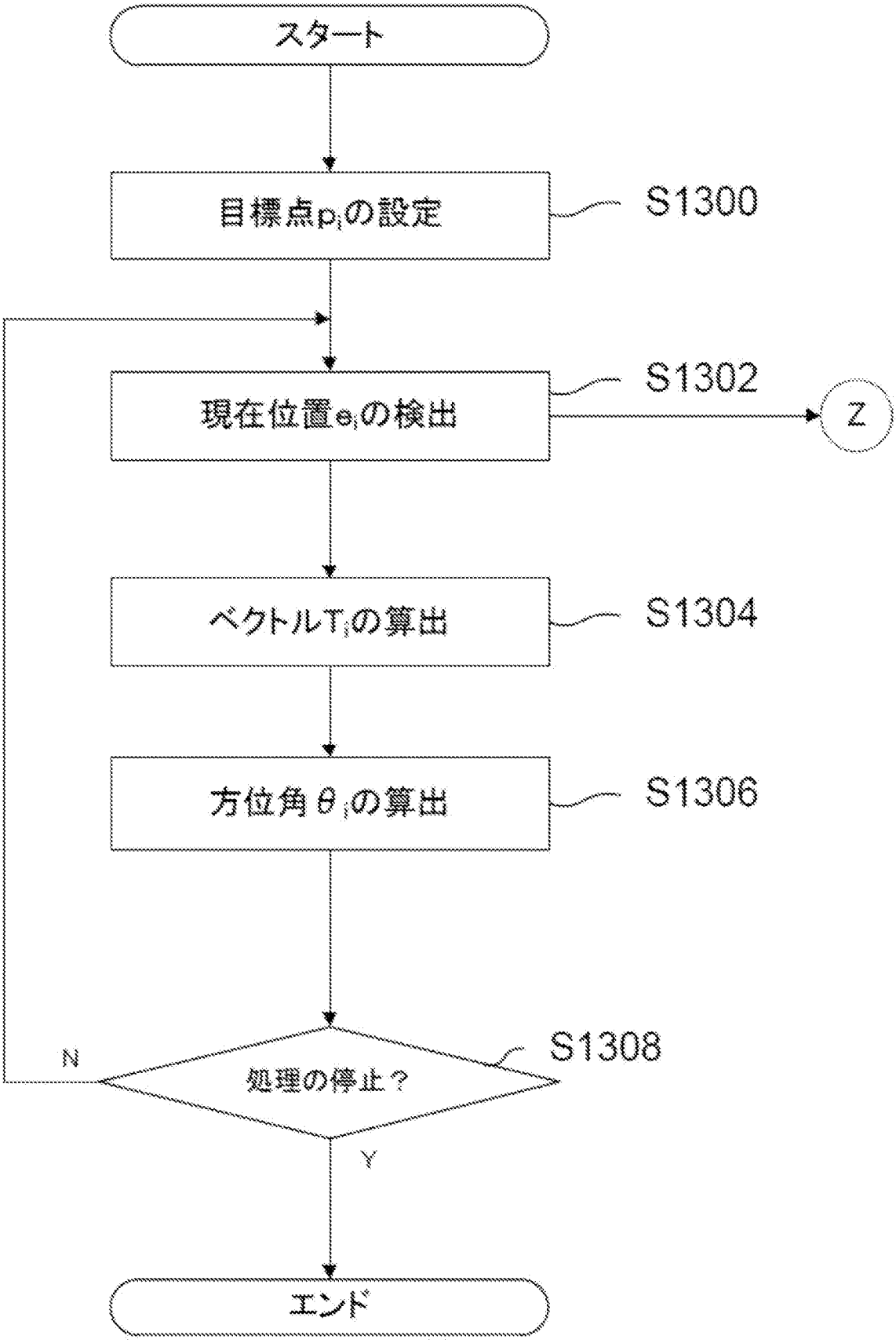
[図6]


スタート
S1100
許容距離の指定
S1102
距離||T||の算出
X
S1106
ホバリング
S1104
||T||＜ΔL
Y
N
S1108
制御データuの更新
Y
S1110
処理の停止？
N
Y
エンド

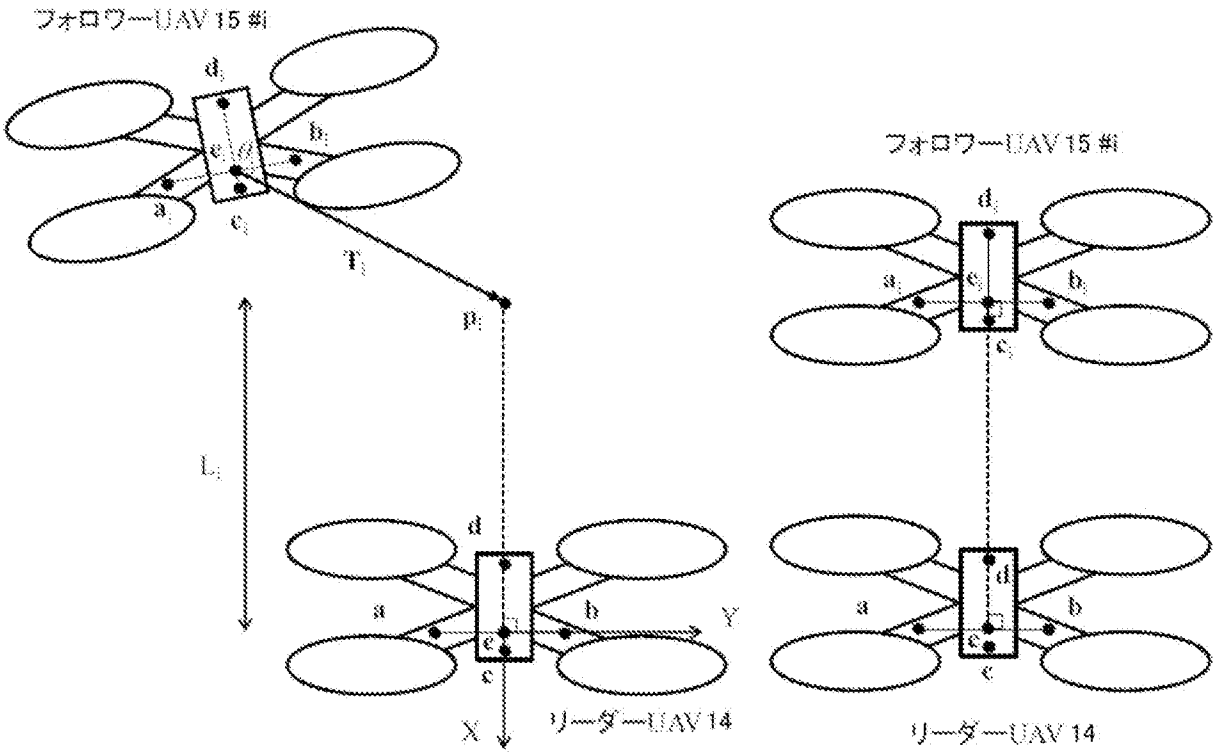
[図7]


スタート
制御データu(u_i)と方位角θと
を受け付け
S1200
Y
飛行指令データへの変換
S1202
飛行指令データの送信
S1204
処理の終了？
S1206
N
Y
エンド

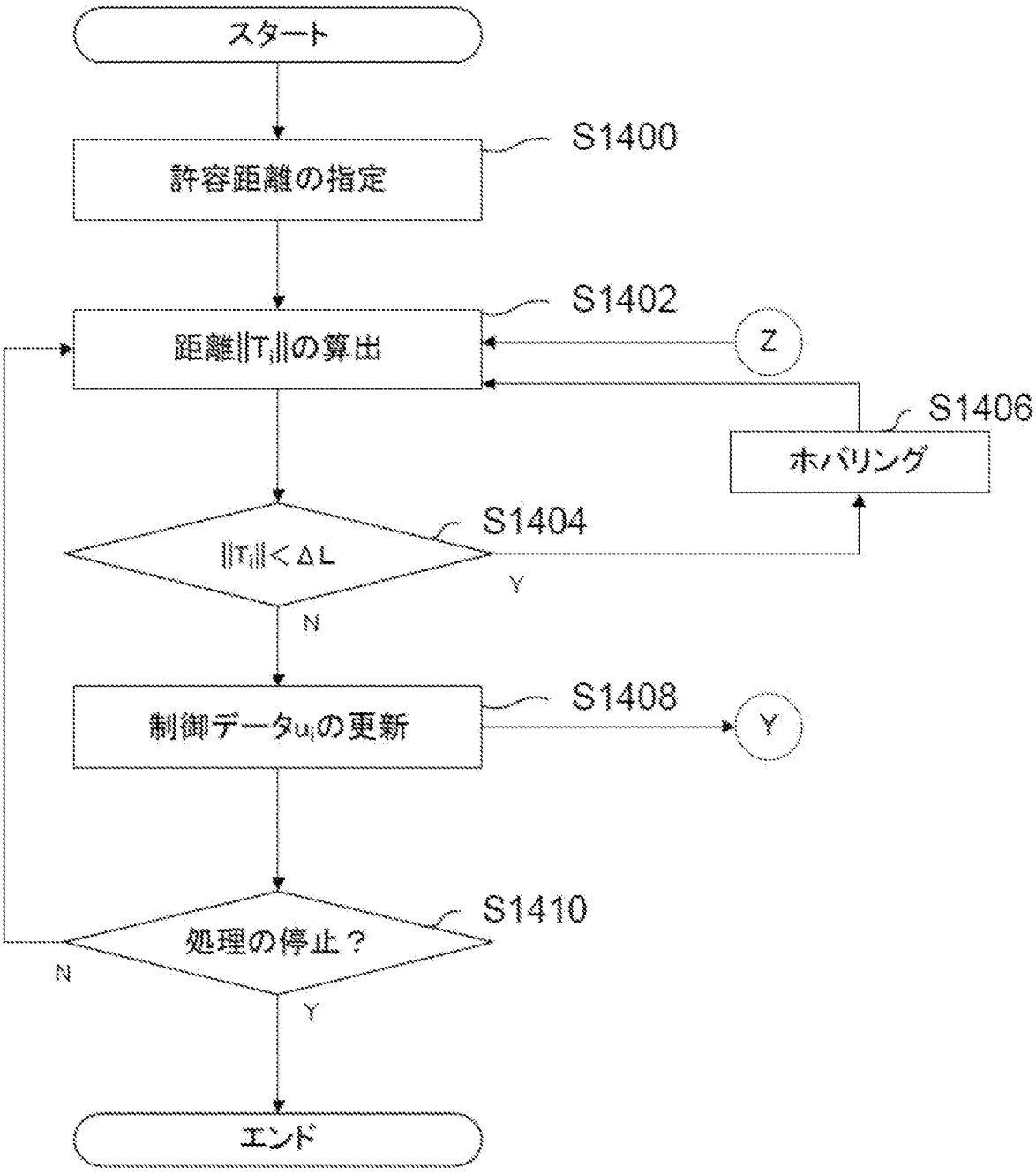
[図8]


スタート
目標点p_iの設定
S1300
現在位置e_iの検出
S1302
Z
ベクトルT_iの算出
S1304
方位角θ_iの算出
S1306
処理の停止？
S1308
N
Y
エンド

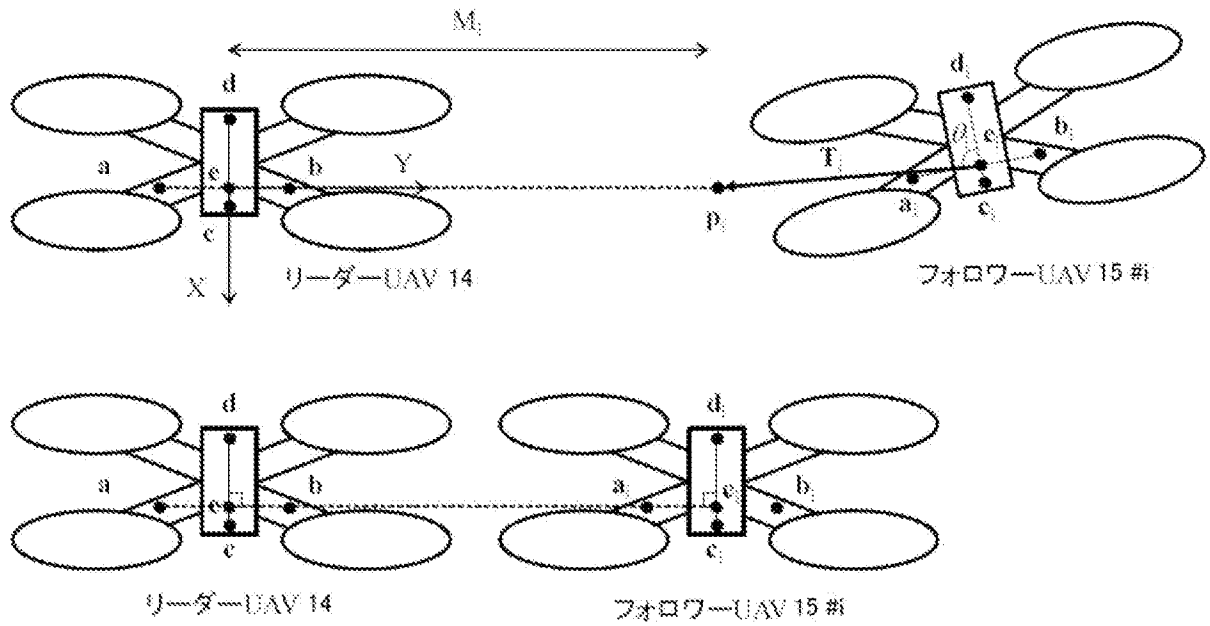
[図9]



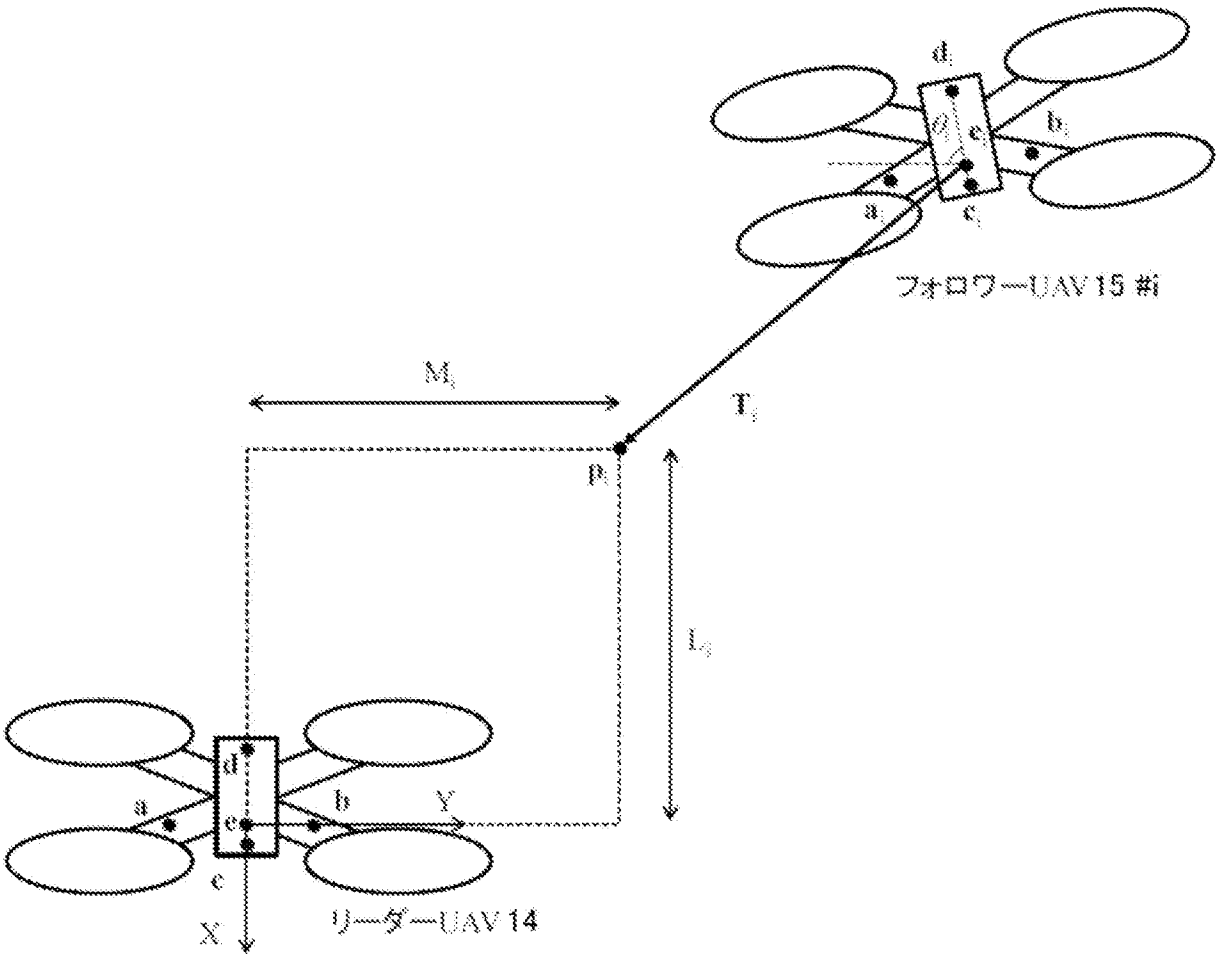
[図10]


スタート
S1400
許容距離の指定
S1402
距離||T_i||の算出
Z
S1406
ホバリング
S1404
||T_i|| < ΔL
Y
N
制御データu_iの更新
S1408
Y
S1410
処理の停止？
N
Y
エンド

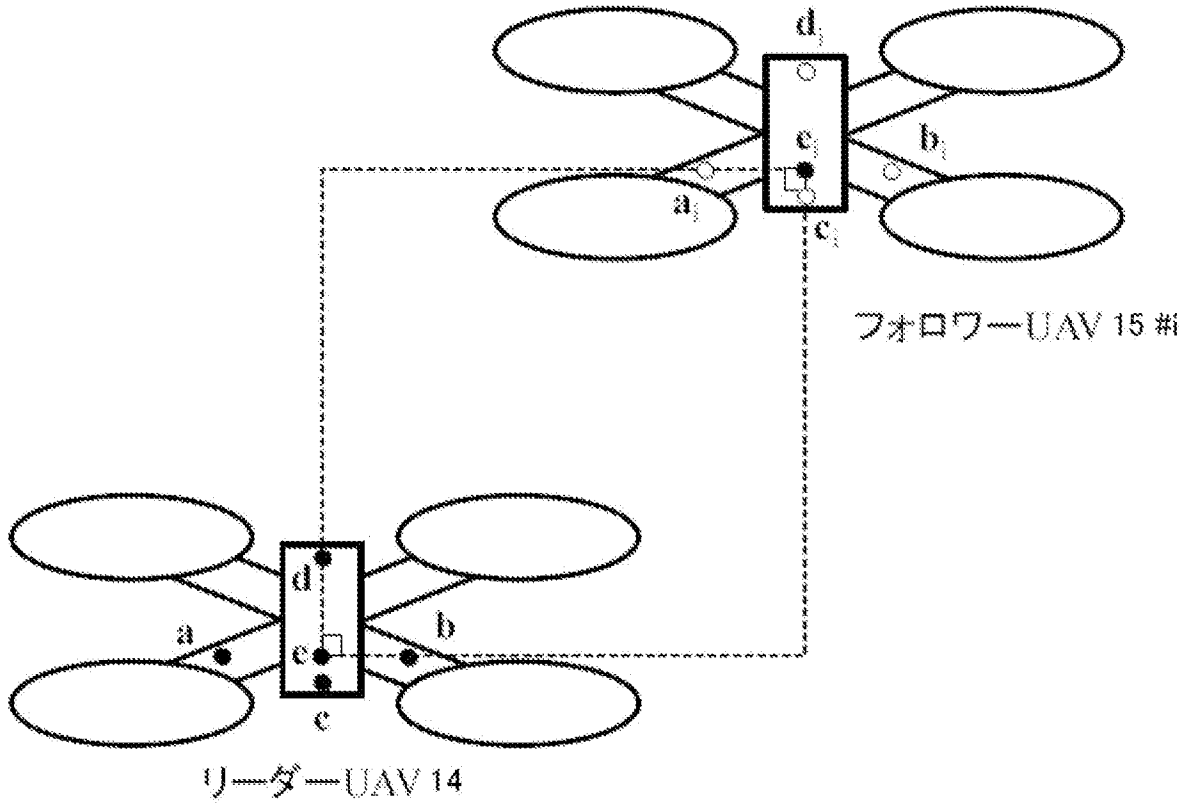
[図11]


M_i
d
a
e
b
Y
c
X
リーダーUAV 14
T_i
p_i
d_i
b_i
a_i
c_i
フォロワーUAV 15 #i

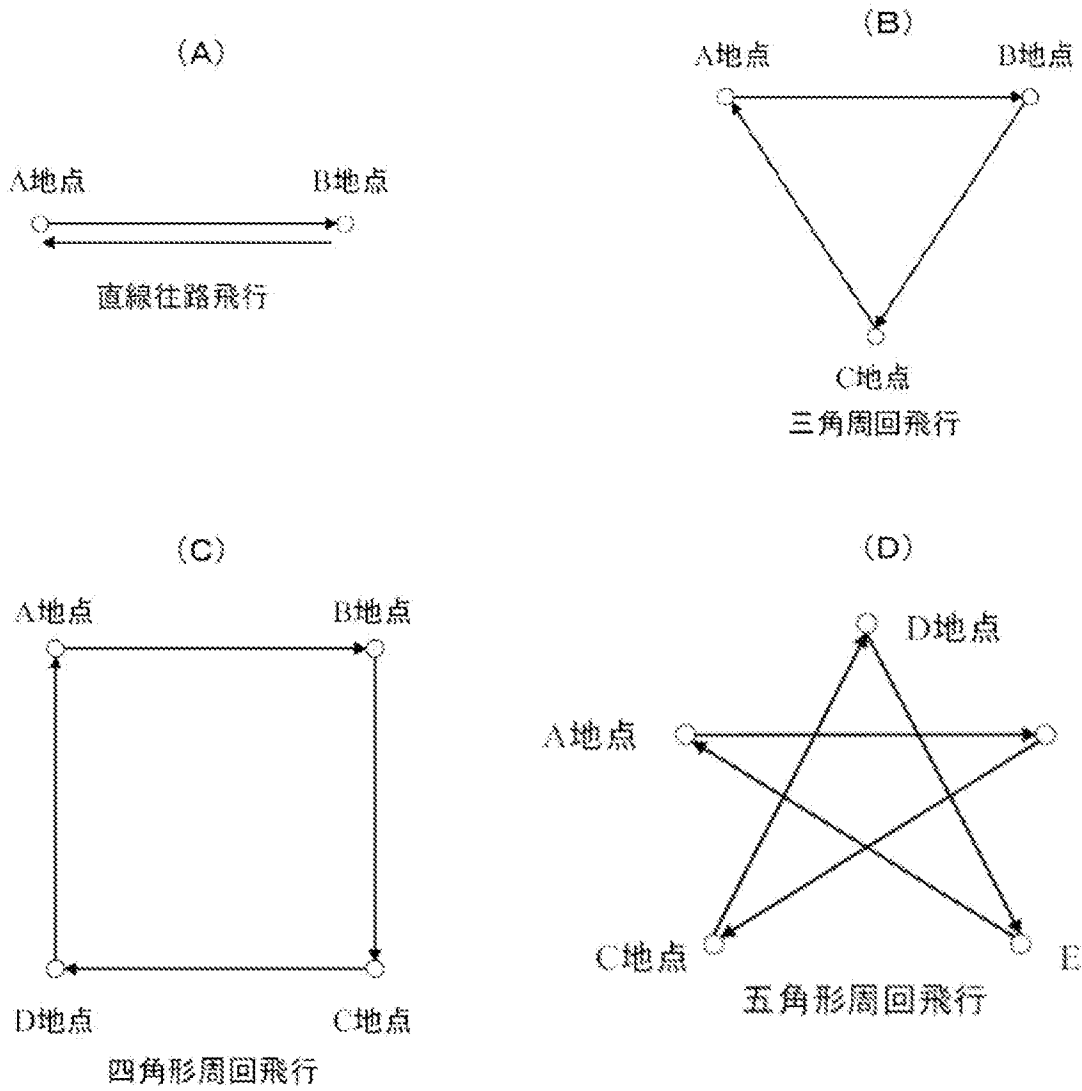
[図12]


d_i
b_i
a_i
c_i
フォロワーUAV 15 #i
M_i
T_i
p_i
L_i
d
a
e
b
Y
c
X
リーダーUAV 14

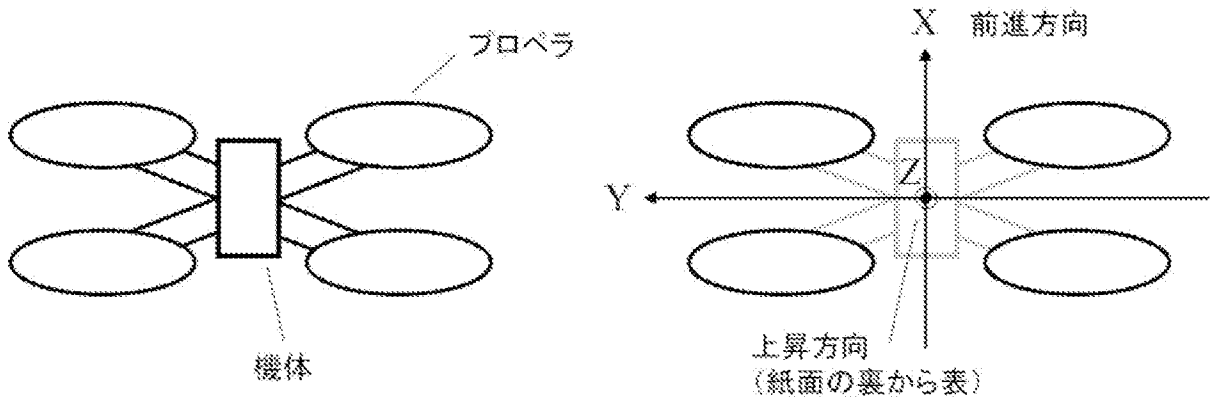
[図13]



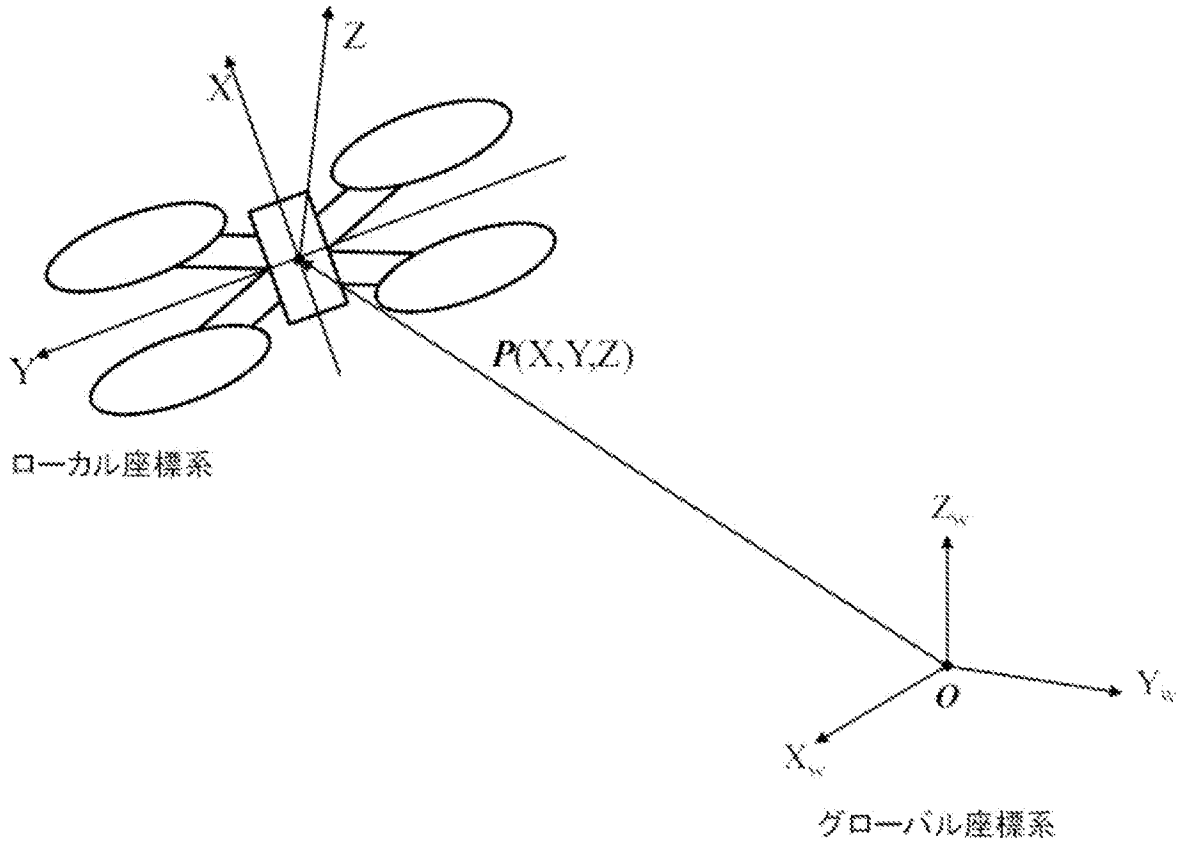
[図14]


(A)
A地点
B地点
直線往路飛行
(B)
A地点
B地点
C地点
三角周回飛行
(C)
A地点
B地点
D地点
C地点
四角形周回飛行
(D)
D地点
A地点
B地点
C地点
E地点
五角形周回飛行

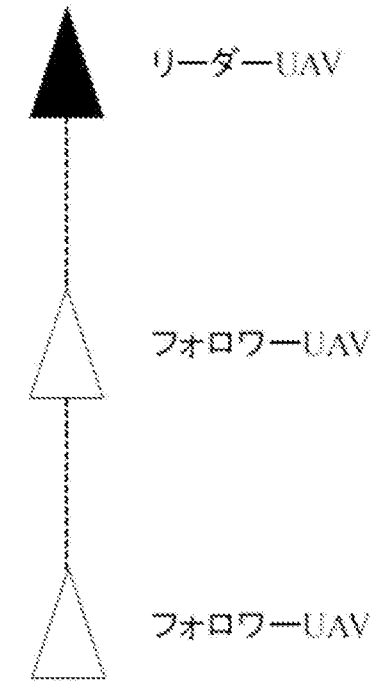
[図15]


プロペラ
機体
X 前進方向
Y
Z
上昇方向
(紙面の裏から表)

[図16]



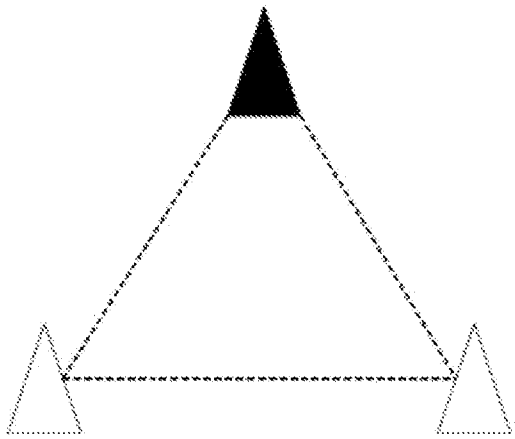
[図17]



トレイル
(A)



アブレスト
(B)



デルタ
(C)

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/JP2019/016054

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
Int.Cl. G05D1/10(2006.01)i, B64C19/02(2006.01)i, B64C27/08(2006.01)i, B64C39/02(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)
Int.Cl. G05D1/00-1/12, B64C19/02, B64C27/08, B64C39/02

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	1971-2019
Registered utility model specifications of Japan	1996-2019
Published registered utility model applications of Japan	1994-2019

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.
A	JP 2017-56899 A (HITACHI SYSTEMS, LTD.) 23 March 2017, entire text, all drawings (Family: none)	1-7
A	JP 2017-52389 A (THE UNIVERSITY OF AIZU) 16 March 2017, entire text, all drawings (Family: none)	1-7
A	滑川 徹, 分散型モデル予測制御に基づくマルチUAVのフォーメーション制御, システム／制御／情報, 15 February 2017, vol. 61, no. 2, pp. 29-35, (NAMERIKAWA, Toru, "Decentralized Model Predictive Formation Control for a Multi-UAV System", SYSTEMS, CONTROL AND INFORMATION)	1-7

☒ 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	Date of mailing of the international search report
27 June 2019 (27.06.2019)	09 July 2019 (09.07.2019)

Name and mailing address of the ISA/	Authorized officer
Japan Patent Office 3-4-3, Kasumigaseki, Chiyoda-ku, Tokyo 100-8915, Japan	Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/JP2019/016054

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	US 2015/0301529 A1 (C & P TECHNOLOGIES, INC.) 22 October 2015, entire text, all drawings (Family: none)	1-7
A	JP 2005-289127 A (NAGASAKI PREFECTURAL GOVERNMENT) 20 October 2005, entire text, all drawings (Family: none)	1-7
A	CN 105955288 A (ZEROTECH (BEIJING) INTELLIGENT TECH CO., LTD.) 21 September 2016, entire text, all drawings (Family: none)	1-7
E,A	JP 2019-59314 A (NIPPON TELEGRAPH AND TELEPHONE CORP.) 18 April 2019, entire text, all drawings (Family: none)	1-7

国際調査報告

国際出願番号　ＰＣＴ／ＪＰ２０１９／０１６０５４

Ａ．　発明の属する分野の分類（国際特許分類（ＩＰＣ））

Int.Cl.　G05D1/10(2006.01)i, B64C19/02(2006.01)i, B64C27/08(2006.01)i, B64C39/02(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.　G05D1/00-1/12, B64C19/02, B64C27/08, B64C39/02

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　１９７１－２０１９年
日本国実用新案登録公報　１９９６－２０１９年
日本国登録実用新案公報　１９９４－２０１９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
A	JP 2017-56899 A (株式会社日立システムズ) 2017.03.23, 全文, 全図（ファミリーなし）	1-7
A	JP 2017-52389 A (公立大学法人会津大学) 2017.03.16, 全文, 全図（ファミリーなし）	1-7
A	滑川　徹, 分散型モデル予測制御に基づくマルチＵＡＶのフォーメーション制御, システム／制御／情報, 2017.02.15, 第61巻, 第2号, 第29-35頁	1-7

☑　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	国際調査報告の発送日
２７．０６．２０１９	０９．０７．２０１９

国際調査機関の名称及びあて先
日本国特許庁（ＩＳＡ／ＪＰ）
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）　３Ｕ　７８７０
藤井　浩介
電話番号　０３－３５８１－１１０１　内線　３３６４

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
A	US 2015/0301529 A1 (C & P TECHNOLOGIES, INC.) 2015.10.22, 全文, 全図（ファミリーなし）	1-7
A	JP 2005-289127 A (長崎県) 2005.10.20, 全文, 全図（ファミリーなし）	1-7
A	CN 105955288 A (ZEROTECH (BEIJING) INTELLIGENT TECH CO LTD) 2016.09.21, 全文, 全図（ファミリーなし）	1-7
E,A	JP 2019-59314 A (日本電信電話株式会社) 2019.04.18, 全文, 全図（ファミリーなし）	1-7