

(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
2020年2月13日(13.02.2020)



(10) 国際公開番号

WO 2020/032058 A1

(51) 国際特許分類:

B64C 19/02 (2006.01) *B64D 45/00* (2006.01)
B64C 13/18 (2006.01) *G05D 1/10* (2006.01)
B64C 39/02 (2006.01)

(21) 国際出願番号: PCT/JP2019/030974

(22) 国際出願日: 2019年8月6日(06.08.2019)

(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 2018-149467 2018年8月8日(08.08.2018) 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).

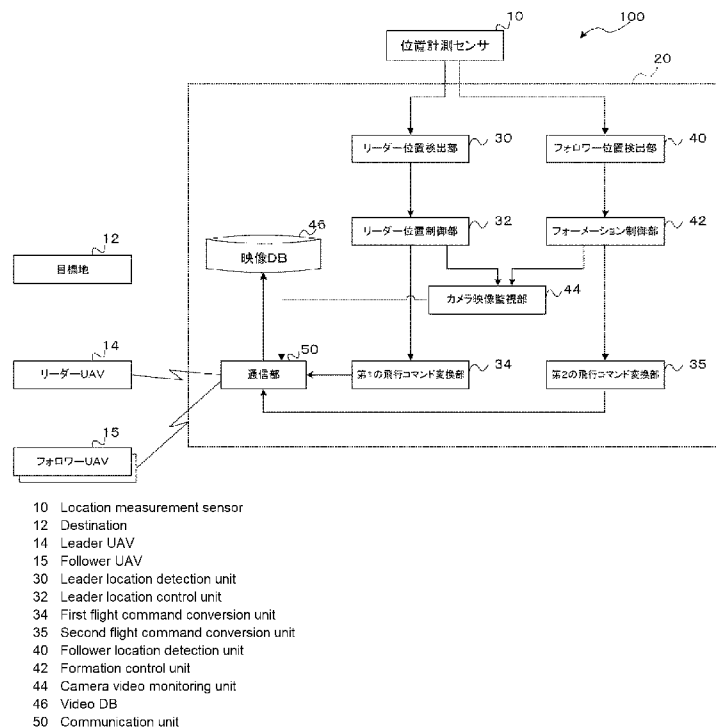
(72) 発明者: 宮川 勲(MIYAGAWA, Isao); 〒1808585 東京都武蔵野市緑町三丁目9番11号 NTT 知的財産センタ内 Tokyo (JP). 杵渕 哲也(KINEBUCHI, Tetsuya); 〒1808585 東京都武蔵野市緑町三丁目9番11号 NTT 知的財産センタ内 Tokyo (JP).

(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,

(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



(57) Abstract: The present invention makes it possible to perform control that makes a plurality of UAV fly smoothly and stably in formation while monitoring all directions. For at least one follower UAV, the present invention: calculates the difference between the bearing angle of a leader UAV and the bearing angle of the follower UAV and, when the calculated difference does not satisfy a prescribed tolerance for the angle of the follower UAV relative to the leader UAV, updates the bearing angle of the follower UAV such that the tolerance is satisfied; updates second control data on the basis

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,
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))

of a distance that is calculated from a vector to a target point for the follower UAV and from the updated or calculated bearing angle; controls the operations of the leader UAV on the basis of calculated flight instruction data; calculates flight instruction data for the follower UAV on the basis of the second control data and of the updated or calculated bearing angle; and controls the operations of the follower UAV on the basis of the calculated flight instruction data.

(57) 要約: 複数台のUAVが編隊を組んで全方位を監視しながら円滑かつ安定的に飛行させるように制御することができる。一つ以上のフォロワーUAVについて、リーダーUAVの方位角とフォロワーUAVの方位角の角度の差を算出し、算出した角度の差が、予め定められたリーダーUAVに対するフォロワーUAVの角度の許容値を満たさない場合、許容値を満たす角度となるように、フォロワーUAVの方位角を更新し、フォロワーUAVの目標点までのベクトル、及び更新又は算出された方位角から求まる距離に基づいて、第2制御データを更新し、算出した飛行指令データに基づいてリーダーUAVの運動を制御し、第2制御データと、更新、又は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] UAV (Unmanned Aerial Vehicle) は複数のロータで駆動するプロペラを持ち、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UAVの一種である。通常、4つのプロペラを持つクアドロータ型UAVが利用されている。以降で扱う無人飛行機をクアドロータ型UAVとし、その名称を単にUAVと略称する。

[0003] 一般的に、UAVの姿勢を計測するために、図17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18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 X_w, Y_w, Z_w 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、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、作業ミッション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、線形モデル予測制御（Linear Model Predictive Control）を利用した編隊飛行制御が公開されている。

[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 Predictive 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19に示す。一般的には、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] 図19の例では、各UAVは進行方向に沿って飛行するため機体の頭（鼻先）は進行方向を向いている。市販のUAVには先頭部分にカメラが取り付けられているものが多く、このカメラを使って前方のシーンを撮像することができる。UAVを使った遠隔パトロールは、先頭部分のカメラで取得した映像を監視することになる。説明の便宜上、全てのUAVは同じ画角のカメラで映像を取得するものとする。例えば、トレイル型編隊飛行では同一方向のカメラ映像を監視するため、リーダーUAVはオクルージョンのない前方映像を取得し、フォロワーUAVは前方のUAVが映り込んだ前方の映像を取得する。この編隊では一列に飛行するため、前方のリーダーUAVが映り込む以外はほぼ重複した時系列画像を取得する。これに対して、アブレスト型編隊飛行では全てのUAVのカメラ映像には他の機体が映り込まず、隣のUAVとの距離によって画面の左右部分が一部重複した時系列画像が得られる。重複箇所を使って画像を合成すれば前方の広視野画像、すなわち前方のパノラマ画像が得られる。また、デルタ型編隊飛行ではリーダーUAVはオクルージョンのない前方映像を取得する。フォロワーUAVの映像はリーダ

ーUAVが映り込むが、隣のUAVとの距離によって画面の左右部分が一部重複した時系列画像が得られる。リーダーUAVが映り込んだ重複箇所を手掛かりに、それらの画像を合成すれば前方のパノラマ画像が得られる。

[0010] 図19の編隊飛行では、全てのUAVは進行方向にカメラを向けて飛行するため、編隊飛行の周囲を一度に監視することができない。例えば、左右方向と後方から障害物、人、並びに別のUAVが接近した場合には時系列画像においてそれらの接近を見落すことになる。非特許文献3では図19に示した編隊飛行を制御する方法が公開されているが、あくまで現在地から目的地までの編隊飛行を目的としており、全方位監視などのパトロールを課題とする解決策ではない。

[0011] 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が編隊を組んで全方位を監視しながら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

[0012] 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一つ以上のフォロワーUAVを制御する飛行制御装置であって、前記リーダーUAVと前記一つ以上のフォロワーUAV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の目標地である第1の目標点とに基づいて、前記リーダーUAVの現在位置と、前記第1の目標点までのベクトルと、前記第1の目標点に対する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の前記第1の目標点までのベクトルに基づいて、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の運動を制御する第1の飛行コマンド変換部と、前記一つ以上のフォロワーUAV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の前記マーカの各々の三次元座標と、編隊によって定まる前記フォロワーUAVの第2の目標点とに基づいて、前記フォロワーUAVの現在位置と、前記第2の目標点までのベクトルと、前記第2の目標点に対する方位角とを算出するフォロワー位置検出部と、前記一つ以上のフォロワーUAVについて、前記リーダーUAVの方位角と前記フォロワーUAVの方位角の差と、前記フォロワーUAVによって定まる所定の角度との差分が、予め定められた許容角度を満たすように、前記フォロワーUAVの方位角を更新し、前記フォロワーUAVの前記第2の目標点までのベクトル、及び前記更新した前記方位角に基づいて、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、前記一つ以上のフォロワーUAV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について前記更新し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の運動を制御する第2の飛行コマンド変換部と、を含んで構成されている。

[0013] 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一つ以上のフォロワーUAV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と前記一つ以上のフォロワーUAVとに付与され、かつ、マーカ間の距離が既知の複数のマーカ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の目標地である第1の目標点とに基づいて、前記リーダーUAVの現在位置と、前記第1の目標点までのベクトルと、前記第1の目標点に対する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の前記第1の目標点までのベクトルに基づいて、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、第1の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、前記一つ以上のフォロワーUAV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の前記マーカの各々の三次元座標と、編隊によって定まる前記フォロワーUAVの第2の目標点とに基づいて、前記フォロワーUAVの現在位置と、前記第2の目標点までのベクトルと、前記第2の目標点に対する方位角とを算出するステップと、フォーメーション制御部が、前記一つ以上のフォロワーUAVについて、前記リーダーUAVの方位角と前記フォロワーUAVの方位角の差と、前記フォロワーUAVによって定まる所定の角度との差分が、予め定められた許容角度を満たすように、前記フォロワーUAVの方位角を更新し、前記フォロワーUAVの前記第2の目標点までのベクトル、及び前記更新した前記方位角に基づいて、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、第2の飛行コマンド変換部が、前記一つ以上のフォロワーUAVについて、前記フォロワーUAVについて更新した前記第2制御データと、前記フォロワーUAVについて前記更新、又は前記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。

[0014] 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である。

発明の効果

- [0015] 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の方位角とすべてのフォロワーUAVの方位角とで全周を等分するように制御するため、複数台のUAVが編隊を組んで全方位を監視しながら円滑かつ安定的に飛行させるように制御することができる、という効果が得られる。

図面の簡単な説明

- [0016] [図1]本発明の実施形態に係る飛行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 軸方向から見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]第1の実施の形態の初期状態におけるリーダー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]第1の実施の形態の最終状態におけるリーダーUAVとフォロワーUAVとの位置関係を示す図である。
- [図12]飛行コマンド変換処理ルーチンにおけるカメラ映像監視処理のフローチャートである。

[図13]第2の実施の形態の初期状態におけるリーダーUAVとフォロワーUAVとの位置関係を示す図である。

[図14]第2の実施の形態の最終状態におけるリーダーUAVとフォロワーUAVとの位置関係を示す図である。

[図15]第3の実施の形態の初期状態におけるリーダーUAVとフォロワーUAVとの位置関係を示す図である。

[図16]第3の実施の形態の最終状態におけるリーダーUAVとフォロワーUAVとの位置関係を示す図である。

[図17]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18]グローバル座標系とUAV固定のローカル座標系の関係を示す図である。

[図19]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

[0017] 以下、図面を参照して本発明の実施の形態を詳細に説明する。本発明の実施の形態に係る手法は、互いに衝突しないように各UAVへ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、編隊を組んだままで周囲のカメラ映像を取得し、全方位の監視を可能とする。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。

[0018] <本発明の第1の実施の形態に係る飛行制御装置の構成>

本発明の第1の実施の形態に係るクアドロータ型UAVの飛行制御装置の構成について説明する。本実施の形態は複数台のUAVによる編隊飛行を制御して全方位のカメラ映像を取得する形態であり、リーダーUAVとフォロワーUAVとの2台とする場合を例に説明する。

[0019] 図1に示すように、本発明の第1の実施の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、第 1 の飛行コマンド変換部 34、第 2 の飛行コマンド変換部 35、フォロワー位置検出部 40、フォーメーション制御部 42、カメラ映像監視部 44、及び映像 DB 46 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。

[0020] 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。本実施の形態では、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、2 台の UAV による編隊飛行制御の例を説明するが、3 台以上の UAV を利用する場合にも本発明の実施の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。

[0021] リーダー UAV 14 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。リーダー UAV 14 のカメラは、点 d から点 c の方向の向きに設置されている。フォロワー UAV 15 # 1 には点 a₁、点 b₁、点 c₁、及び点 d₁ 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。フォロワー UAV 15 # 1 のカメラは、点 d_1 から点 c_1 の方向の向きに設置されている。なお、フォロワー UAV 15 # 2 が存在する場合には、同様に、フォロワー UAV 15 # 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ものとする。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 UAV 15 # 2 のカメラは、点 d_2 から点 c_2 の方向の向きに設置されている。フォロワー UAV 15 # 1、# 2 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。

[0022] 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 UAV 14 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 UAV 14 の飛行を制御するリーダー位置制御部 32 と、リーダー UAV 14 に指令データを送出するための第 1 の飛行コマンド変換部 34 と、フォロワー UAV 15 に指令データを送出するための第 2 の飛行コマンド変換部 35 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 UAV 15 の位置を検出するフォロワー位置検出部 40 と、リーダー UAV 14 の位置、及びフォロワー UAV 15 の方位角に基づいてフォロワー UAV 15 の飛行を制御するフォーメーション制御部 42 と、各 UAV からカメラにより撮影した映像を取得する命令及び映像を映像 DB 46 に転送する命令を送出するカメラ映像監視部 44 と、映像 DB 46 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。

[0023] 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 UAV 14 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 UAV 14 の目標地 12 の目標点 p とに基づいて、リーダー UAV 14 の現在位置 e 、現在位置 e からの目標点 p までのベクトル T 、及

び目標点 p に対する方位角 θ を算出する。現在位置 e は、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 である。方位角 θ は、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 線分の方位角である。なお、目標点 p が第 1 の目標点の一例であり、方位角 θ が第 1 の目標点に対する方位角の一例である。

[0024] リーダー位置制御部 32 は、リーダー UAV 14 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 UAV 14 の位置を制御するための第 1 制御データ u を更新する。また、リーダー位置制御部 32 は、リーダー UAV 14 について、目標点 p に対する予め定められた許容距離 ΔL を満たす場合に、編隊完了通知をカメラ映像監視部 44 に送信する。

[0025] 第 1 の飛行コマンド変換部 34 は、リーダー UAV 14 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 UAV 14 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 UAV 14 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 UAV 14 の運動を制御する。

[0026] フォロワー位置検出部 40 は、一つ以上のフォロワー UAV 15 # i 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 UAV 15 # i のマーカーの各々の三次元座標と、編隊によって定まるフォロワー UAV 15 # i の目標点 p_i とに基づいて、フォロワー UAV 15 # i について、フォロワー UAV 15 # i の現在位置 e_i 、現在位置 e_i からの目標点 p_i までのベクトル T_i 、及び目標点 p_i に対する方位角 θ_i を算出する。現在位置 e_i は、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 e_i である。方位角 θ_i は、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 線分の方位角である。なお、目標点 p_i が第 2 の目標点の一例であり、方位角 θ_i が第 2 の目標点に対する方位角の一例である。

[0027] フォーメーション制御部42は、一つ以上のフォロワーUAV15#iについて、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 を更新するが、条件に応じて処理が異なる。リーダーUAV14の方位角とフォロワーUAV15#iの方位角の差と、フォロワーUAV15#iによって定まる所定の角度との差分を算出し、算出した差分が、予め定められたリーダーUAV14に対するフォロワーUAV15#iの角度の許容角度 $\Delta\theta$ を満たすか否かに応じて、以下のように処理する。

[0028] 差分が、許容角度 $\Delta\theta$ を満たさない場合には、許容角度 $\Delta\theta$ を満たす角度となるように、フォロワーUAV15#iの方位角 θ_i を更新し、フォロワーUAV15#iの目標点 p_i までのベクトル T_i' 、及び更新された方位角 θ_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。差分が、許容角度 $\Delta\theta$ を満たす場合には、フォロワーUAV15#iの目標点 p_i までのベクトル T_i' 、及び算出された方位角 θ_i から求まる距離 $\|T_i'\|$ に基づいて、第2制御データ u_i を更新する。また、フォーメーション制御部42は、フォロワーUAV15#iについて、目標点 p_i に対する予め定められた許容距離 ΔL を満たす場合に、編隊完了通知をカメラ映像監視部44に送信する。このように、フォーメーション制御部42は、リーダーUAV14の方位角とすべてのフォロワーUAV15#iの更新後の方位角（又は算出した方位角）とで全周を等分するように、フォロワーUAV#iの方位角を更新する。

[0029] 第2の飛行コマンド変換部35は、一つ以上のフォロワーUAV15#i（本実施の形態では、 $i=1$ のみの場合を例に説明する。）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、更新又は算出された方位角 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。

[0030] カメラ映像監視部44は、リーダーUAV14、及び一つ以上のフォロワーUAV15#iの編隊完了通知のすべてを受信した場合に、リーダーUAV14、及び一つ以上のフォロワーUAV15#iのカメラにより映像を取得するように制御する。

[0031] 通信部50は、飛行指令データをリーダーUAV14、及び一つ以上のフォロワーUAV15#iに送信する。また、通信部50は、カメラ映像監視部44からの取得の命令に応じてリーダーUAV14、及び一つ以上のフォロワーUAV15#iにカメラの映像を取得する命令を通知する。また、通信部50は、カメラ映像監視部44からの転送の命令により各UAVについて取得した映像を映像DB46に格納する。映像DB46はオペレータが操作するメインサーバーと接続されている（図示省略）。各UAVから映像DB46への転送は無線を利用して映像を送信する。あるいは各UAV内部のメモリに一時保存しておき、適宜、オペレータの指示または一定間隔において無線経由で映像を送信してもよい。

[0032] <本発明の第1の実施の形態に係る飛行制御装置の作用>

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

[0033] リーダーUAV14及び一つ以上のフォロワー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。なお、飛行制御処理ルーチンは、各ステップの詳細において説明するようにステップごとに独立して処理を繰り返しているものとする。

[0034] まず、ステップS100では、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。

- [0035] 次に、ステップ S 1 0 2 では、リーダー位置制御部 3 2 は、リーダー UAV 1 4 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 UAV 1 4 の位置を制御するための第 1 制御データ u を更新する。また、リーダー位置制御部 3 2 は、所定の条件に応じて、編隊完了通知又は編隊未完了通知をカメラ映像監視部 4 4 に送信する。
- [0036] ステップ S 1 0 4 では、第 1 の飛行コマンド変換部 3 4 は、リーダー UAV 1 4 について、ステップ S 1 0 2 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 UAV 1 4 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 5 0 を介してリーダー UAV 1 4 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 UAV 1 4 の運動を制御する。
- [0037] ステップ S 1 0 6 では、一つ以上のフォロワー UAV 1 5 を順番に制御するため、フォロワー UAV 1 5 # i ($i = 1, 2, \dots$) を選択する。本実施の形態では、 $i = 1$ であるため、1 台のみ選択される。
- [0038] ステップ S 1 0 8 では、フォロワー位置検出部 4 0 が、位置計測センサ 1 0 によって計測されたフォロワー UAV 1 5 # i のマーカの各々の三次元座標と、リーダー UAV 1 4 の第 1 線分及び第 2 線分の交点 e から、リーダー UAV 1 4 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 UAV 1 5 # i の目標点 p_i とに基づいて、フォロワー UAV 1 5 # i について、マーカの点 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。
- [0039] ステップ S 1 1 0 では、フォーメーション制御部 4 2 は、フォロワー UAV 1 5 # i について、フォロワー UAV 1 5 # 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 UAV 15 # 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。また、フォーメーション制御部 42 は、所定の条件に応じて、編隊完了通知又は編隊未完了通知をカメラ映像監視部 44 に送信する。

[0040] ステップ S 112 では、第2の飛行コマンド変換部 35 は、フォロワー UAV 15 # i について、ステップ S 110 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 UAV 15 # 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 UAV 15 # 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 UAV 15 # i の運動を制御する。

[0041] ステップ S 114 では、全てのフォロワー UAV 15 # 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 S 106 に戻って次のフォロワー UAV 15 # i を選択して処理を繰り返し、終了していればステップ S 116 へ移行する。

[0042] ステップ S 116 では、カメラ映像監視部 44 は、全てのフォロワー UAV 15 # i について編隊完了通知を受信して編隊が完了したかを判定し、完了していれば、リーダー UAV 14 及び全てのフォロワー UAV 15 # i からカメラの映像を同期させて取得する命令を通信部 50 を介して各 UAV に送信し、通信部 50 に取得した映像を映像 DB 46 に転送する命令を送信する。

[0043] 次に、ステップ S 100 のリーダー位置検出部 30 のリーダー位置検出処理の詳細について説明する。

[0044] 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 S 1000 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。リーダー UAV 14 が目的地に到達すると、次の目標地 12 の三次元座標 p が与えられる。目標地 12 の三次元座標 p は編隊飛行

の経路に沿って離散的に与えられる。

- [0045] ステップS1002で、リーダーUAV14のマーカの点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を設置してもよいが、本実施の形態では汎用性のために、点eの位置を4つのマーカの点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。
- [0046] 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。
- [0047] 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 θ （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、マーカの点a、マーカの点b、及び目標地の点pを Z_w 軸方向から見た位置と方位の関係を表す。方位角 $\theta = 0$ のとき、ベクトル $a - b$ がベクトルTと直交する。
- [0048] 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。
- [0049] 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。
- [0050] 次に、ステップS102のリーダー位置制御部32のリーダー位置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。
- [0051] 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。

[0052] 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）。

[0053] 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。 $\|\cdot\|$ はベクトルのノルム（大きさ）を表す。

[0054] ステップS1104で、距離 $\|T\|$ が許容距離 ΔL 以下（ $\|T\| \leq \Delta L$ ）であるか否かを判定する。 $\|T\| \leq \Delta L$ であればステップS1110へ移行する。 $\|T\| \leq \Delta L$ でなく、 $\|T\| > \Delta L$ であれば運動を制御するためステップS1106へ移行する。

[0055] ステップS1106で、第1制御データを

$$u = \kappa T$$

の計算により求める。第1制御データuは、第1の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。

[0056] 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、第1の飛行コマンド変換部34に渡される（図6にはYと記した）。

[0057] 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、 $\|T\| \leq \Delta L$ 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。

[0058] ステップS1107で、リーダーUAV14の編隊が未完了であるものとして、カメラ映像監視部44に編隊未完了通知を送信する（図6にはWと記

した)。

[0059] ステップS 1 1 0 8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S 1 1 0 2に戻って処理を繰り返す。

[0060] ステップS 1 1 1 0で、ホバリング状態でリーダーUAV 14を待機させるように制御する。

[0061] ステップS 1 1 1 2で、カメラ映像監視部44に編隊完了通知を送信し(図6にはWと記した)、ステップS 1 1 0 2へ移行する。

[0062] 以上の処理によって、リーダー位置制御部32は、リーダーUAV 14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。

[0063] 次に、ステップS 1 0 4の第1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。

[0064] 第1の飛行コマンド変換部34の処理により、リーダーUAV 14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UAV 14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。UAV 14への飛行コマンドには様々なデータ形式が存在するが、本実施の形態では、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UAV 14の飛行を制御する場合にも、本実施の形態を利用できることは言うまでもない。また、以下は第1の飛行コマンド変換部34におけるリーダーUAV 14の場合を例に説明するが、第2の飛行コマンド変換部35についても第1の飛行コマンド変換部34と同様に制御できる。第2の飛行コマンド変換部35において、一つ以上のフォロワーUAV 15 # i を制御する場合については、第1制御データ u と方位角 θ とを、第2制御データ u_i と方位角 θ_i とに置き換えて飛行指令データに変換して制御する。

[0065] 図7は第1の飛行コマンド変換部34の飛行コマンド変換処理のフロー図である。第1の飛行コマンド変換部34は処理を開始すると、ステップS 1

200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。

[0066] 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。

[0067] [数1]

$$V_x = \alpha_x u_y, \quad V_y = \alpha_y u_x, \quad V_z = \alpha_z u_z, \quad V_\theta = \alpha_\theta \theta, \\ \dots (1)$$

[0068] 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。

[0069] 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。

[0070] 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が点Aと点Bとに一致するように補正される。

[0071] 図8はフォロワー位置検出部40のフォロワー位置検出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。本実施の形態では、フォロワーUAV15が1台であるため、 $i = 1$ の場合のフォ

ロワー位置検出部40の処理フローを説明する。

- [0072] 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#1に対して、2台フォーメーションにおける目標地の3次元座標 p_1 を設定する。点 p_1 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 $L + L_1$ だけ離れた座標値とする。 $L \neq L_1$ の場合も処理内容は変わらないため $L = L_1$ 、 $L > 0$ の長さとする。リーダーUAV14の運動に従ってフォーメーション飛行させるため、 $p_1 = e + (-2L, 0, 0)$ と与える。
- [0073] 図9に、リーダーUAV14とフォロワーUAV15#1の初期状態での位置関係を示す。初期状態として、フォロワーUAV15#1はリーダーUAV14の方向を向いているが、本処理はリーダーUAV14とフォロワーUAV15#1の初期位置と初期方向に依存しない。
- [0074] ステップS1302で、フォロワーUAV15#1に装着したマーカ点 a_1 、点 b_1 、点 c_1 、及び点 d_1 を位置計測センサ10により検出して、交点 e_1 の位置を算出する。点 e_1 の座標はフォロワーUAV15#1の現在位置となる。現在位置 e_1 が算出されると、フォーメーション制御部42に渡される（図8にはZと記した）。
- [0075] 次に、ステップS1304で、フォロワーUAV15#1の現在位置（点 e_1 ）から目標地（点 p_1 ）までのベクトル T_1 を、 $T_1 = p_1 - e_1$ の計算により求める。
- [0076] ステップS1306で、点 a_1 から点 b_1 へのベクトル $a_1 - b_1$ がベクトル T_1 となす回転角 θ_1 （方位角）をベクトル内積の関係を利用して算出する。方位角 θ_1 が算出されると、フォーメーション制御部42に渡される（図8にはZと記した）。
- [0077] 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。
- [0078] 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

1 の現在位置（点 e_1 ）と、フォロワー UAV 15 # 1 の現在位置（点 e_1 ）から目標地（点 p_1 ）までのベクトル T_1 と、フォロワー UAV 15 # 1 の方位角 θ_1 を算出する。方位角 θ_1 が算出されると、フォーメーション制御部 42 に渡される（図 8 には Z と記した）。

[0079] 図 10 はフォーメーション制御部 42 のフォーメーション制御処理のフロー図である。本実施の形態では、フォロワー UAV 15 が 1 台であるため、 $i = 1$ の場合のフォロワー位置検出部 40 の処理フローを説明する。図 11 に示すように、リーダー UAV 14 の正反対の位置及び向きのフォーメーションでフォロワー UAV 15 # 1 を飛行させるように運動を制御する。図 11 において、点 g はリーダー UAV 14 の位置 e とフォロワー UAV 15 # 1 の位置 e_1 の中点の座標であり、フォロワー UAV 15 # 1 は点 g を中心に 180 度回転した方向を向いた姿勢でリーダー UAV 14 と同じ方向を飛行する。

[0080] 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 S 1400 で、許容距離 ΔL を指定する。許容距離 ΔL とは、フォロワー UAV 15 # 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である。便宜上、リーダー位置制御部 32 で設定した同じ許容距離を設定する。

[0081] フォロワー位置検出部 40 において、フォロワー UAV 15 # 1 の現在位置（点 e_1 ）と方位角 θ_1 が位置計測センサ 10 を使って時系列に得られており、現在位置と方位角 θ_1 を取得するたびにステップ S 1402 に与えられる（図 10 には Z と記した）。

[0082] ステップ S 1402 で、与えられた現在位置と方位角 θ_1 のデータから、フォロワー UAV 15 # 1 の現在位置 e_1 から目標地の点 p_1 までの距離 $\|T_1\|$ を算出する。

[0083] ステップ S 1404 で、距離 $\|T_1\|$ が許容距離 ΔL 以下であるか否かを判定する。 $\|T_1\| \leq \Delta L$ であればステップ S 1418 へ移行する。 $\|T_1\| \leq \Delta L$ でなく、 $\|T_1\| > \Delta L$ であれば運動を制御するためステップ S 1406

へ移行する。

[0084] ステップS 1 4 0 6で、フォロワーUAV 1 5 # 1とリーダーUAV 1 4との方位角の差 ω_1 を以下(2)式により算出する。

[0085] [数2]

$$\omega_1 = \theta_1 - \theta - \pi, \\ \dots (2)$$

[0086] ステップS 1 4 0 8で、方位角の差分 ω_1 の絶対値 $|\omega_1|$ が許容角度 $\Delta\theta$ 以下であるか否かを判定する。許容角度 $\Delta\theta$ 以下であればステップS 1 4 1 0へ移行する。許容角度 $\Delta\theta$ 以下でなければステップS 1 4 1 2へ移行する。ここでは、方位誤差の許容値として $\Delta\theta$ を設定するが、ドリフトを考慮して、例えば、 $\Delta\theta = \pi / 180$ (ラジアン) と与える。許容角度 $\Delta\theta$ 以下ならば、フォロワーUAV 1 5 # 1の方位角はほぼ $\theta_1 = \theta + \pi$ となる。

[0087] ステップS 1 4 1 0で、フォロワーUAV 1 5 # 1とリーダーUAV 1 4との方位が真反対の180度をなすようにフォロワーUAV 1 5 # 1の方位角 θ_1 を以下(3)式により更新する(正の回転を反時計周りの回転とする)。更新した方位角 θ_1 は第2の飛行コマンド変換部35に渡される(図10にはYと記した)。(3)式において、本実施の形態では $i = 1$ である。

[0088] [数3]

$$\theta_i = \theta_i - \omega_i, \\ \dots (3)$$

[0089] ステップS 1 4 1 2で、変化がある現在の方位角 θ_1 に応じて、フォロワーUAV 1 5 # 1の並進ベクトル T_1' を以下(4)式により変換する。(4)式において、本実施の形態では $i = 1$ である。ステップS 1 4 1 0を処理した場合には、ステップS 1 4 1 0で更新した方位角 θ_1 を用いる。ステップS 1 4 1 0を処理していない場合には、上記ステップS 1 3 0 6で算出した方位角 θ_1 を用いる。

[0090]

[数4]

$$\mathbf{T}'_i = \begin{bmatrix} \cos(\theta_i) & -\sin(\theta_i) & 0 \\ \sin(\theta_i) & \cos(\theta_i) & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \mathbf{T}_i, \quad \dots (4)$$

[0091] ステップS 1 4 1 4で、第2制御データを

$$\mathbf{u}_1 = \kappa \mathbf{T}'_1$$

の計算により求める。第2制御データ $\mathbf{u}_1$ は、第2の飛行コマンド変換部35においてフォロワーUAV 15 # 1への飛行指令として使われる。

[0092] 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 $\mathbf{u}_1$ が計算されると、第2の飛行コマンド変換部35に渡される（図10にはYと記した）。

[0093] ステップS 1 4 1 5で、フォロワーUAV 15 # 1の編隊が未完了であるものとして、カメラ映像監視部44に編隊未完了通知を送信する（図10にはWと記した）。

[0094] ステップS 1 4 1 6で、フォーメーション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フォーメーション制御部42の処理を終了し、終了しない場合にはステップS 1 4 0 2に戻って処理を繰り返す。

[0095] この反復を続けることによりフォロワーUAV 15 # 1は目標地の点 p_1 に近づくことになり、 $\|\mathbf{T}'_1\| \leq \Delta L$ を満たすとき図11のフォーメーションに従って飛行する。

[0096] 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UAV 15 # 1の現在位置 e_1 から目標地の点 p_1 までの距離 $\|\mathbf{T}'_1\|$ に応じて制御データ $\mathbf{u}_1$ を出力する。

[0097] ステップS 1 4 1 8で、ホバリング状態でフォロワーUAV 15 # 1を待

機させるように制御する。

[0098] ステップS 1 4 2 0で、カメラ映像監視部4 4に編隊完了通知を送信し（図1 0にはWと記した）、ステップS 1 4 0 2へ移行する。

[0099] 図1 2はカメラ映像監視部4 4のカメラ映像監視処理のフロー図である。カメラ映像監視部4 4は、リーダーUAV 1 4とフォロワーUAV 1 5 # 1による編隊を組んで飛行している間にカメラ映像を取得して全周囲の環境を監視する機能を有する。本実施の形態では、フォロワーUAV 1 5が1台であるため、 $i = 1$ の場合のカメラ映像監視部4 4の処理フローを説明する。なお、N台の場合も $i = 1, 2, \dots, N$ として同様に処理できる。

[0100] カメラ映像監視部4 4は、処理を開始すると、ステップS 1 5 0 0で、リーダーUAV 1 4からの編隊通知情報を受信する。編隊通知情報とは、リーダーUAV 1 4とフォロワーUAV 1 5 # 1による編隊が完了して飛行しているか否かを知らせる通知である。編隊が完了している場合には、編隊通知情報として編隊完了通知を受信する。編隊が完了していない場合や編隊が崩れた場合には、編隊通知情報として編隊未完通知を受信する。

[0101] ステップS 1 5 0 2で、全てのUAVから編隊完了通知を受信したかを判定し、受信していればステップS 1 5 0 4へ移行し、受信していなければステップS 1 5 1 0へ移行して待機状態に移行する。このように、もし、1台でも編隊が完了していない場合は待機状態になり、まだ通知を受信していないUAVの編隊完了通知を待つ。

[0102] ステップS 1 5 0 4で、リーダーUAV 1 4とフォロワーUAV 1 5 # 1から同期信号を受信する。同期信号は時間：分：秒：フレームから構成されるタイムコードを利用する。タイムコードを取得した映像フレームと合わせることで、リーダーUAV 1 4とフォロワーUAV 1 5 # 1で取得した映像フレームの同期を合わせることができる。

[0103] ステップS 1 5 0 6で、同期信号を受信しながら、UAVの前方のカメラから映像を取得する命令をリーダーUAV 1 4とフォロワーUAV 1 5 # 1に送信する。通信部5 0に、リーダーUAV 1 4とフォロワーUAV 1 5 #

1 から取得した映像を転送する命令を送信し、取得した映像 D B 4 6 に格納する。

[0104] ステップ S 1 5 0 8 で、カメラ映像監視の処理を停止するかを判定し、処理を停止する場合にはカメラ映像監視部 4 4 の処理を終了し、終了しない場合にはステップ S 1 5 1 0 に移行して、待機状態となってから処理を繰り返す。

[0105] もし、カメラから映像を取得中に、何らかのトラブルにより編隊が崩れた場合、編隊通知情報において編隊が未完という通知が入る。このとき、カメラ映像の取得を停止させて、編隊が完了するまで待機する。

[0106] 以上の処理によって、カメラ映像監視部 4 4 はリーダー U A V 1 4 とフォロワー U A V 1 5 # 1 による編隊飛行中に全周囲の映像を取得する。

[0107] 以上により、本実施の形態は、位置計測センサ 1 0 によってリーダー U A V 1 4 とフォロワー U A V 1 5 # 1 の位置と方位を算出し、2 台の U A V が編隊を組んで飛行し、全周囲の映像を監視することができる。さらに、リーダー U A V 1 4 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、その軌跡に沿って 2 台の U A V により全周囲の映像を監視することができる。

[0108] 以上説明したように、第 1 の実施の形態に係る飛行制御装置によれば、複数台の U A V が編隊を組んで全方位の監視しながら円滑かつ安定的に飛行させるように制御できる。

[0109] <本発明の第 2 の実施の形態に係る飛行制御装置の構成及び作用>

本発明の第 2 の実施の形態は、上記図 1 の第 1 の実施の形態の構成により、リーダー U A V 1 4 と 2 台のフォロワー U A V 1 5 が三角形フォーメーションのリーダー・フォロワー編隊飛行をする制御の実施の形態である。本実施の形態では、正三角形のフォーメーションにした場合を例に説明するが、二等辺三角形、辺の長さが全て異なる三角形にも応用できる。本実施の形態では、正三角形のフォーメーションに応じてフォロワー U A V 1 5 の飛行を制御する処理が第 1 の実施の形態と異なるため、以降では第 1 の実施の形態

との差分のみを説明する。

[0110] 本実施の形態のフォロワー位置検出部40は図8のフローに従う。図8において、 $i = 1$ 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。

[0111] 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、3台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。リーダーUAV14の現在位置と点 p_i は正三角形の頂点であり、三角形の重心から各頂点までの距離を L とする。重心 g を原点として、リーダーUAV14の現在位置が e であるとき、フォロワーUAV15#1の目標地は3次元座標 $p_1 = e + (-2L/3, \sqrt{3}L/2, 0)$ と与え、フォロワーUAV15#2の目標地は3次元座標 $p_2 = e + (-2L/3, -\sqrt{3}L/2, 0)$ と与える。

[0112] 図13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。初期状態として、フォロワーUAV15# i はリーダーUAV14の方向を向いているが、本処理はリーダーUAV14とフォロワーUAV15# i の初期位置と初期方向に依存しない。

[0113] ステップS1302で、フォロワーUAV15# i に装着したマーカ一点 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。

[0114] 次に、ステップS1304で、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。

[0115] 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。

[0116] 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 UAV 15 # i の方位角 θ_i を算出する。

[0117] 本実施の形態のフォーメーション制御部 42 は図 10 のフローに従う。図 10 において、 $i = 1$ の場合がフォロワー UAV 15 # 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 UAV 15 # 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。

[0118] 本実施の形態では、リーダー UAV 14 の方位から反時計周りに 120 度回転した方位をフォロワー UAV 15 # 1 の方位とし、リーダー UAV 14 の方位から反時計周りに 240 度回転した方位をフォロワー UAV 15 # 2 の方位とする。このように、リーダー UAV 14 の方位に対して等分に振り分けた角度の方位を設定する。ステップ S 1406 で、フォロワー UAV 15 # i とリーダー UAV 14 との方位角の差分 ω_i を以下 (5) 式により算出する。

[0119] [数5]

$$\omega_i = \theta_i - \theta - i \times 2\pi/3, \quad (i = 1, 2) \\ \dots (5)$$

[0120] ステップ S 1408 で、方位角の差分 ω_i の絶対値 $|\omega_i|$ が許容角度 $\Delta\theta$ 以下であるか否かを判定する。許容角度 $\Delta\theta$ 以下であればステップ S 1410 へ移行する。許容角度 $\Delta\theta$ 以下でなければステップ S 1412 へ移行する。

[0121] ステップ S 1410 で、フォロワー UAV 15 # i の方位角 θ_i を上記 (3) 式により更新する。更新した方位角 θ_i は第 2 の飛行コマンド変換部 35 に渡される (図 10 には Y と記した)。

[0122] ステップ S 1412 で、変化がある現在の方位角 θ_i に応じて、フォロワー UAV 15 # i の並進ベクトル T_i' を上記 (4) 式により変換する。ステップ S 1410 を処理した場合には、ステップ S 1410 で更新した方位角 θ_i を用いる。ステップ S 1410 を処理していない場合には、上記ステップ S

1306で算出した方位角 θ_i を用いる。

[0123] ステップS1414で、第2制御データを

$$u_i = \kappa T'_i$$

の計算により求める。第2制御データ u_i は、第2の飛行コマンド変換部35においてフォロワーUAV15# i への飛行指令として使われる。この反復を続けることによりフォロワーUAV15# i は目的地の点 p_i に近づくことになり、 $\|T'_i\| \leq \Delta L$ を満たすとき図14のフォーメーションに従って編隊飛行する。

[0124] 以上により、本実施の形態は、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、3台のUAVが編隊を組んで飛行し、全周囲の映像を監視することができる。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、その軌跡に沿って3台のUAVにより全周囲の映像を監視することができる。

[0125] <本発明の第3の実施の形態に係る飛行制御装置の構成及び作用>

[0126] 本発明の第3の実施の形態は、上記図1の第1の実施の形態の構成により、リーダーUAV14と3台のフォロワーUAV15が正方形フォーメーションのリーダー・フォロワー編隊飛行をする制御の実施の形態である。本実施の形態では、正方形のフォーメーションにした場合を例に説明するが、長方形、菱形、四角形にも応用できる。本実施の形態では、正方形の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2の実施の形態と異なるため、以降では第2の実施の形態との差分のみを説明する。

[0127] 本実施の形態のフォロワー位置検出部40は図8のフローに従う。図8において、 $i = 1$ 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の処理フローであり、 $i = 3$ の場合がフォロワーUAV15#3に関するフォロワー位置検出部40の処理フローで

ある。

- [0128] 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、3台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。リーダーUAV14の現在位置と点 p_i は正方形の頂点であり、正方形の重心から各頂点までの距離を L とする。重心 g を原点として、リーダーUAV14の現在位置が e であるとき、フォロワーUAV15#1の目標地は3次元座標 $p_1 = e + (-L, L, 0)$ と与え、フォロワーUAV15#2の目標地は3次元座標 $p_2 = e + (-2L, 0, 0)$ と与え、フォロワーUAV15#3の目標地は3次元座標 $p_3 = e + (-L, -L, 0)$ と与える。
- [0129] 図15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。初期状態として、フォロワーUAV15# i はリーダーUAV14の方向を向いているが、本処理はリーダーUAV14とフォロワーUAV15# i の初期位置と初期方向に依存しない。以降のステップの処理は第2の実施の形態と同様である。
- [0130] 本実施の形態のフォーメーション制御部42は図10のフローに従う。図10において、 $i = 1$ 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UAV15#2に関するフォーメーション制御部42の処理フローであり、 $i = 3$ の場合がフォロワーUAV15#3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。
- [0131] 本実施の形態では、リーダーUAV14の方位から反時計周りに90度回転した方位をフォロワーUAV15#1の方位とし、リーダーUAV14の方位から反時計周りに180度回転した方位をフォロワーUAV15#2の方位とし、リーダーUAV14の方位から反時計周りに270度回転した方位をフォロワーUAV15#3の方位とする。このように、リーダーUAV14の方位に対して等分に振り分けた方位を設定する。ステップS1406で、フォロワーUAV15# i とリーダーUAV14との方位角の差 ω_i を以

下（６）式により算出する。

[0132] [数6]

$$\omega_i = \theta_i - \theta - i \times \pi/2, \quad (i = 1, 2, 3) \\ \dots (6)$$

[0133] 以降は、第２の実施の形態のフォーメーション制御部４２の処理と同様であり、フォロワーＵＡＶ１５＃ｉは目的地の点 p_i に近づくことになり、 $||T_i' - p_i|| \leq \Delta L$ を満たすとき図１６のフォーメーションに従って編隊飛行する。

[0134] 以上により、本実施の形態は、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、４台のＵＡＶが編隊を組んで飛行し、全周囲の映像を監視することができる。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、その軌跡に沿って４台のＵＡＶにより全周囲の映像を監視することができる。

[0135] <本発明の第４の実施の形態に係る飛行制御装置の構成及び作用>

[0136] 本発明の第４の実施の形態は、上記図１の第１の実施の形態の構成により、リーダーＵＡＶ１４とＮ台のフォロワーＵＡＶ１５が正多角形フォーメーションのリーダー・フォロワー編隊飛行をする制御の実施の形態である。本実施の形態では、正多角形のフォーメーションにした場合を例に説明する。本実施の形態では、正多角形の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３の実施の形態と異なるため、以降では第３の実施の形態との差分のみを説明する。

[0137] 本実施の形態のフォロワー位置検出部４０は図８のフローに従う。図８において、 $i = 1, 2, \dots, N$ の場合が、それぞれフォロワーＵＡＶ１５＃１，フォロワーＵＡＶ１５＃２， $\dots$ ，フォロワーＵＡＶ１５＃Ｎのそれぞれに関するフォロワー位置検出部４０の処理フローである。

[0138] 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、 $M = (N + 1)$ 台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。リーダーUAV14の現在位置と点 p_i は正多角形の頂点であり、正多角形の重心から各頂点までの距離を L とする。重心 g を原点として、リーダーUAV14の現在位置が e であるとき、フォロワーUAV15 # i の目標地は3次元座標 $p_i = e + (L (\cos(i \times 2\pi/M) - 1), L (\sin(i \times 2\pi/M)), 0)$ と与える。以降のステップの処理は第3の実施の形態と同様である。

[0139] 本実施の形態のフォーメーション制御部42は図10のフローに従う。図10において、 $i = 1, 2, \dots, N$ の場合が、それぞれフォロワーUAV15 # 1, フォロワーUAV15 # 2, $\dots$, フォロワーUAV15 # N のそれぞれ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。

[0140] 本実施の形態では、リーダーUAV14の方位から反時計周りに $360 \times i/M$ 度回転した方位をフォロワーUAV15 # i の方位とする。ステップS1406で、フォロワーUAV15 # i とリーダーUAV14との方位角の差 ω_i を以下(7)式により算出する。

[0141] [数7]

$$\omega_i = \theta_i - \theta - i \times 2\pi/M, \quad (i = 1, 2, \dots, N)$$

$\dots (7)$

[0142] 以降は、第3の実施の形態のフォーメーション制御部42の処理と同様であり、フォロワーUAV15 # i は目的地の点 p_i に近づくことになり、 $\|T_i'\| \leq \Delta L$ を満たすとき図16のフォーメーションに従って編隊飛行する。

[0143] 以上により、本実施の形態は、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、 M 台のUAVが編隊を組んで飛行し、全周囲の映像を監視することができる。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、その軌跡に沿って M 台のUAVにより全周囲の映像を監視することができる。

[0144] <本発明の第5の実施の形態に係る飛行制御装置の構成及び作用>

- [0145] 本発明の第5の実施の形態は、上記図1の第1の実施の形態の構成により、リーダーUAV14とN台のフォロワーUAV15が多角形フォーメーションのリーダー・フォロワー編隊飛行をする制御の実施の形態である。本実施の形態では、重心からの距離を異ならせた多角形のフォーメーションにした場合を例に説明する。環境における風速などの状況によっては、正多角形ではなく、状況に応じた多角形にした方がよい場合がある。本実施の形態では、多角形の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4の実施の形態と異なるため、以降では第4の実施の形態との差分のみを説明する。
- [0146] 本実施の形態のフォロワー位置検出部40は図8のフローに従う。図8において、 $i = 1, 2, \dots, N$ の場合が、それぞれフォロワーUAV15 #1, フォロワーUAV15 #2, $\dots$, フォロワーUAV15 #Nのそれぞれに関するフォロワー位置検出部40の処理フローである。
- [0147] 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、 $M = (N + 1)$ 台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。リーダーUAV14の現在位置と点 p_i は多角形の頂点であり、多角形の重心からフォロワーUAV15 # i の各頂点までの距離を L_i とする。多角形の重心からリーダーUAV14までの距離は L とする。ただし、 L_i の距離はフォロワーUAV15 # i に応じて全て異ならせる。フォロワーUAV15 # i 同士がぶつかり合わない程度に、 $L \neq L_1 \neq L_2 \neq \dots \neq L_N$ とそれぞれのフォロワーUAV15 # i に異なる距離を設定する。重心 g を原点として、リーダーUAV14の現在位置が e であるとき、フォロワーUAV15 #1の目標地は $p_i = e + (L_i (\cos(i \times 2\pi / M - L), L_i (\sin(i \times 2\pi / M)), 0))$ と与える。以降のステップの処理は第4の実施の形態と同様であり、重心からの距離がそれぞれ異なる多角形のフォーメーションに従って編隊飛行する。
- [0148] 以上により、本実施の形態は、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、M台のUAVが

編隊を組んで飛行し、全周囲の映像を監視することができる。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、その軌跡に沿ってM台のUAVにより全周囲の映像を監視することができる。

[0149] <本発明の第6の実施の形態に係る飛行制御装置の構成及び作用>

[0150] 本発明の第6の実施の形態は、上記図1の第1の実施の形態の構成により、リーダーUAV14とN台のフォロワーUAV15が多角形フォーメーションのリーダー・フォロワー編隊飛行をする制御の実施の形態である。本実施の形態では、方位角の間隔を異ならせた多角形のフォーメーションにした場合を例に説明する。本実施の形態では、多角形の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4の実施の形態と異なるため、以降では第4の実施の形態との差分のみを説明する。

[0151] 本実施の形態のフォーメーション制御部42は図10のフローに従う。図10において、 $i = 1, 2, \dots, N$ の場合が、それぞれフォロワーUAV15#1, フォロワーUAV15#2, $\dots$, フォロワーUAV15#Nのそれぞれ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。

[0152] 本実施の形態では、リーダーUAV14の方位から反時計周りに ϕ_i 度回転した方位をフォロワーUAV15# i の方位とする。フォロワーUAV15# i 同士がぶつかり合わない程度に、 $\phi_1 \neq \phi_2 \neq \dots \neq \phi_N$ とそれぞれのフォロワーUAV15# i に異なる方位を設定する。ステップS1406で、フォロワーUAV15# i とリーダーUAV14との方位角の差 ω_i を以下(8)式により算出する。

[0153] [数8]

$$\omega_i = \theta_i - \theta - \phi_i, \quad (i = 1, 2, \dots, N)$$

$\dots (8)$

[0154] 以降は、第4の実施の形態のフォーメーション制御部42の処理と同様であり、フォロワーUAV15# i は目的地の点 p_i に近づくことになり、 $||T$

$i' || \leq \Delta L$ を満たすとき、方位角の間隔がそれぞれ異なる多角形のフォーメーションに従って編隊飛行する。

[0155] 以上により、本実施の形態は、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、M台のUAVが編隊を組んで飛行し、全周囲の映像を監視することができる。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、その軌跡に沿ってM台のUAVにより全周囲の映像を監視することができる。

[0156] <本発明の第7の実施の形態に係る飛行制御装置の構成及び作用>

[0157] 本発明の第7の実施の形態は、上記図1の第1の実施の形態の構成により、リーダーUAV14とN台のフォロワーUAV15が多角形フォーメーションのリーダー・フォロワー編隊飛行をする制御の実施の形態である。本実施の形態では、重心からの距離及び方位を異ならせた多角形のフォーメーションにした場合を例に説明する。本実施の形態では、多角形の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4の実施の形態と異なるため、以降では第4の実施の形態との差分のみを説明する。

[0158] 本実施の形態のフォロワー位置検出部40は図8のフローに従う。図8において、 $i = 1, 2, \dots, N$ の場合が、それぞれフォロワーUAV15#1, フォロワーUAV15#2, $\dots$, フォロワーUAV15#Nのそれぞれに関するフォロワー位置検出部40の処理フローである。

[0159] 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、 $M = (N + 1)$ 台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。リーダーUAV14の現在位置と点 p_i は多角形の頂点であり、多角形の重心からフォロワーUAV15#iの各頂点までの距離を L_i とする。多角形の重心からリーダーUAV14までの距離はLとする。ただし、 L_i の距離はフォロワーUAV15#iに応じて全て異ならせる。フォロワーUAV15#i同士がぶつかり合わない程度に、 $L \neq L_1 \neq L_2 \neq \dots \neq L_N$ とそれぞれのフォロワーUAV15#iに異なる距

離を設定する。重心 g を原点として、リーダー UAV 14 の現在位置が e であるとき、フォロワー UAV 15 # 1 の目標地は $p_i = e + (L_i (\cos(i \times 2\pi / M - L), L_i (\sin(i \times 2\pi / M)), 0))$ と与える。以降のステップの処理は第4の実施の形態と同様である。

[0160] 本実施の形態のフォーメーション制御部 42 は図 10 のフローに従う。図 10 において、 $i = 1, 2, \dots, N$ の場合が、それぞれフォロワー UAV 15 # 1, フォロワー UAV 15 # 2, $\dots$, フォロワー UAV 15 # N のそれぞれ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。

[0161] 本実施の形態では、リーダー UAV 14 の方位から反時計周りに ϕ_i 度回転した方位をフォロワー UAV 15 # i の方位とする。フォロワー UAV 15 # i 同士がぶつかり合わない程度に、 $\phi_1 \neq \phi_2 \neq \dots \neq \phi_N$ とそれぞれのフォロワー UAV 15 # i に異なる方位を設定する。ステップ S 1406 で、フォロワー UAV 15 # i とリーダー UAV 14 との方位角の差 ω_i を上記 (8) 式により算出する。

[0162] 以降は、第4の実施の形態のフォーメーション制御部 42 の処理と同様であり、フォロワー UAV 15 # i は目的地の点 p_i に近づくことになり、 $\|T_i'\| \leq \Delta L$ を満たすとき重心からの距離及び方位角がそれぞれ異なる多角形のフォーメーションに従って編隊飛行する。

[0163] 以上により、本実施の形態は、位置計測センサ 10 によってリーダー UAV 14 とフォロワー UAV 15 # i の位置と方位を算出し、M 台の UAV が編隊を組んで飛行し、全周囲の映像を監視することができる。さらに、リーダー UAV 14 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、その軌跡に沿って M 台の UAV により全周囲の映像を監視することができる。

[0164] 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。

[0165] 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 UAV 14 とフォロワー UAV 15 # 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

- [0166] 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 第1の飛行コマンド変換部
- 35 第2の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
- 44 カメラ映像監視部
- 46 映像DB
- 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一つ以上のフォロワーUAVを制御する飛行制御装置であって、

前記リーダーUAVと前記一つ以上のフォロワーUAV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の目標地である第1の目標点とに基づいて、前記リーダーUAVの現在位置と、前記第1の目標点までのベクトルと、前記第1の目標点に対する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の前記第1の目標点までのベクトルに基づいて、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の運動を制御する第1の飛行コマンド変換部と、

前記一つ以上のフォロワーUAV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、編隊によって定まる前記フォロワーUAVの第2の目標点とに基づいて、前記フォロワーUAVの現在位置と、前記第2の目標点までのベクトルと、前記第2の目標点に対する方位角とを算出するフォロワー位置検出部と、

前記一つ以上のフォロワーUAVについて、前記リーダーUAVの

方位角と前記フォロワーUAVの方位角の差と、前記フォロワーUAVによって定まる所定の角度との差分が、予め定められた許容角度を満たすように、前記フォロワーUAVの方位角を更新し、前記フォロワーUAVの前記第2の目標点までのベクトル、及び前記更新した前記方位角に基づいて、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、

前記一つ以上のフォロワーUAV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について前記更新し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の運動を制御する第2の飛行コマンド変換部と、

を含む飛行制御装置。

[請求項2] 前記フォーメーション制御部は、前記リーダーUAVの方位角とすべての前記フォロワーUAVの更新後の方位角とで全周を等分するように、前記フォロワーUAVの方位角を更新する請求項1に記載の飛行制御装置。

[請求項3] カメラ映像監視部を更に含み、

前記リーダー位置制御部は、前記リーダーUAVについて、前記第1の目標点に対する予め定められた許容距離を満たす場合に、編隊完了通知を前記カメラ映像監視部に送信し、

前記フォーメーション制御部は、前記一つ以上のフォロワーUAVについて、前記第2の目標点に対する予め定められた許容距離を満たす場合に、編隊完了通知を前記カメラ映像監視部に送信し、

前記カメラ映像監視部は、前記リーダーUAV、及び前記一つ以上のフォロワーUAVの前記編隊完了通知のすべてを受信した場合に、前記リーダーUAV、及び前記一つ以上のフォロワーUAVのカメラにより映像を取得するように制御する請求項1又は請求項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一つ以上のフォロワーUAV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と前記一つ以上のフォロワーUAV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の目標地である第1の目標点とに基づいて、前記リーダーUAVの現在位置と、前記第1の目標点までのベクトルと、前記第1の目標点に対する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の前記第1の目標点までのベクトルに基づいて、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、

第1の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、前記一つ以上のフォロワーUAV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、編隊によって定まる前記フォロワーUAVの第2の目標点とに基づいて、前記フォロワーUAVの現在位置と、前記第2の目標点までのベクトルと、前記第2の目標点に対する方位角とを算出するステップと、

フォーメーション制御部が、前記一つ以上のフォロワーUAVにつ

いて、前記リーダーUAVの方位角と前記フォロワーUAVの方位角の差と、前記フォロワーUAVによって定まる所定の角度との差分が、予め定められた許容角度を満たすように、前記フォロワーUAVの方位角を更新し、前記フォロワーUAVの前記第2の目標点までのベクトル、及び前記更新した前記方位角に基づいて、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、

第2の飛行コマンド変換部が、前記一つ以上のフォロワーUAVについて、前記フォロワーUAVについて更新した前記第2制御データと、前記フォロワーUAVについて前記更新、又は前記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] 前記フォーメーション制御部は、前記リーダーUAVの方位角とすべての前記フォロワーUAVの更新後の方位角とで全周を等分するように、前記フォロワーUAVの方位角を更新する請求項4に記載の飛行制御方法。

[請求項6] カメラ映像監視部を更に含み、

前記リーダー位置制御部は、前記リーダーUAVについて、前記第1の目標点に対する予め定められた許容距離を満たす場合に、編隊完了通知を前記カメラ映像監視部に送信し、

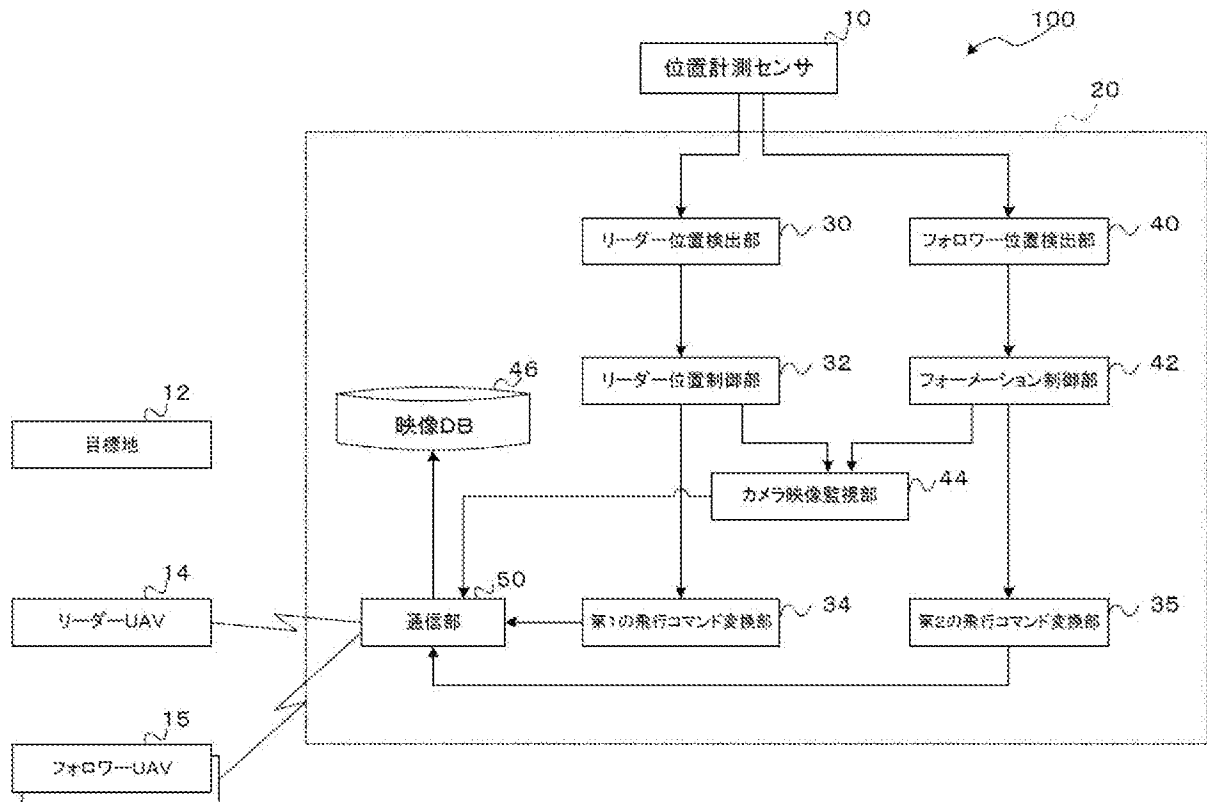
前記フォーメーション制御部は、前記一つ以上のフォロワーUAVについて、前記第2の目標点に対する予め定められた許容距離を満たす場合に、編隊完了通知を前記カメラ映像監視部に送信し、

前記カメラ映像監視部は、前記リーダーUAV、及び前記一つ以上のフォロワーUAVの前記編隊完了通知のすべてを受信した場合に、前記リーダーUAV、及び前記一つ以上のフォロワーUAVのカメラにより映像を取得するように制御する請求項4又は請求項5に記載の

飛行制御方法。

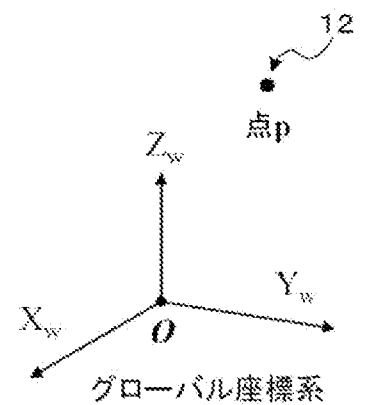
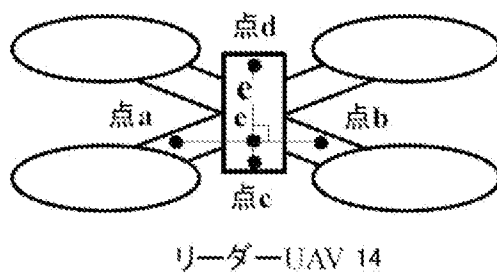
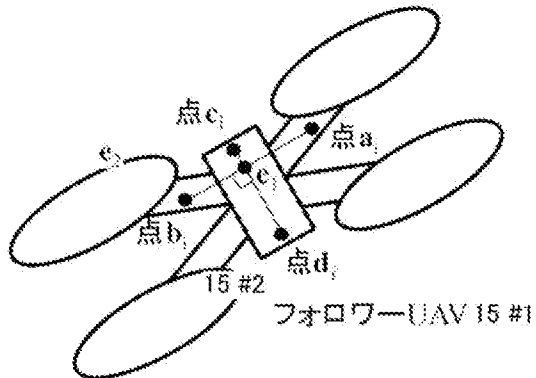
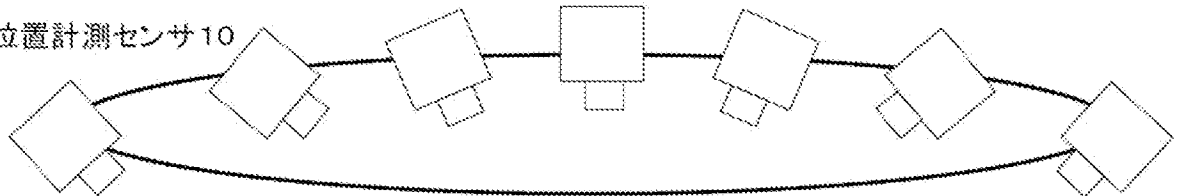
[請求項7] コンピュータを、請求項1～請求項3のいずれか1項に記載の飛行制御装置の各部として機能させるためのプログラム。

[図1]

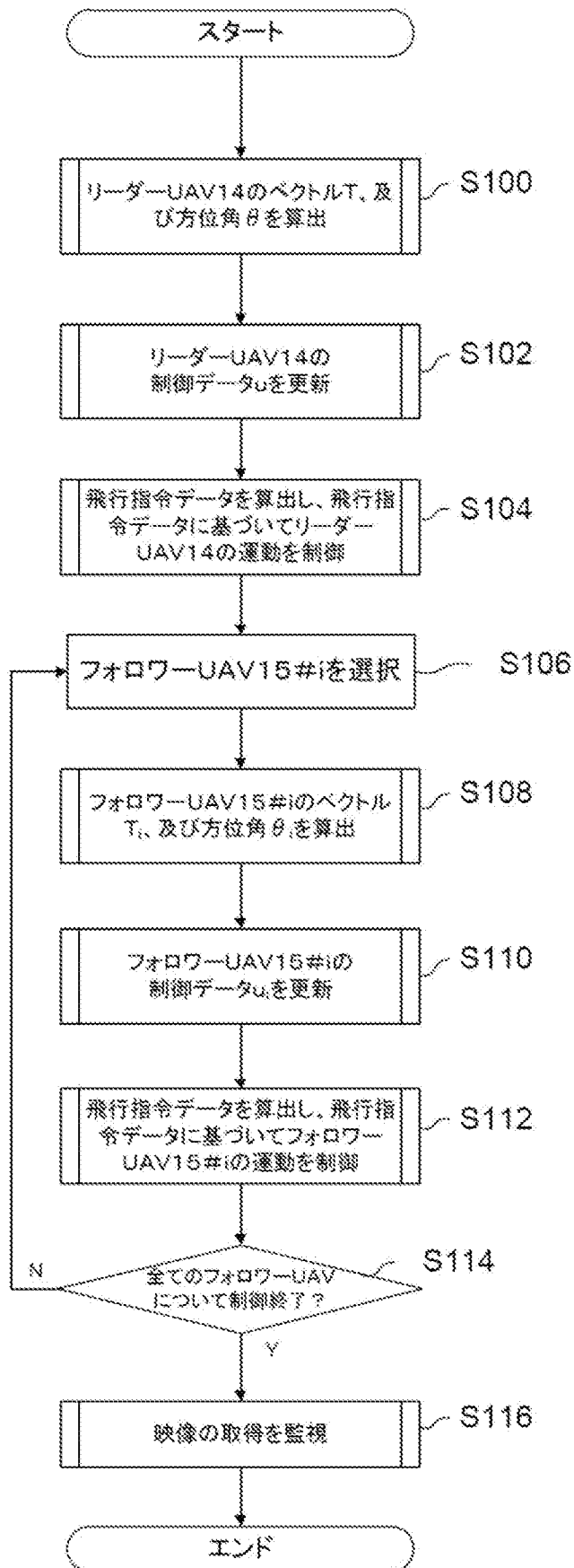


[図2]

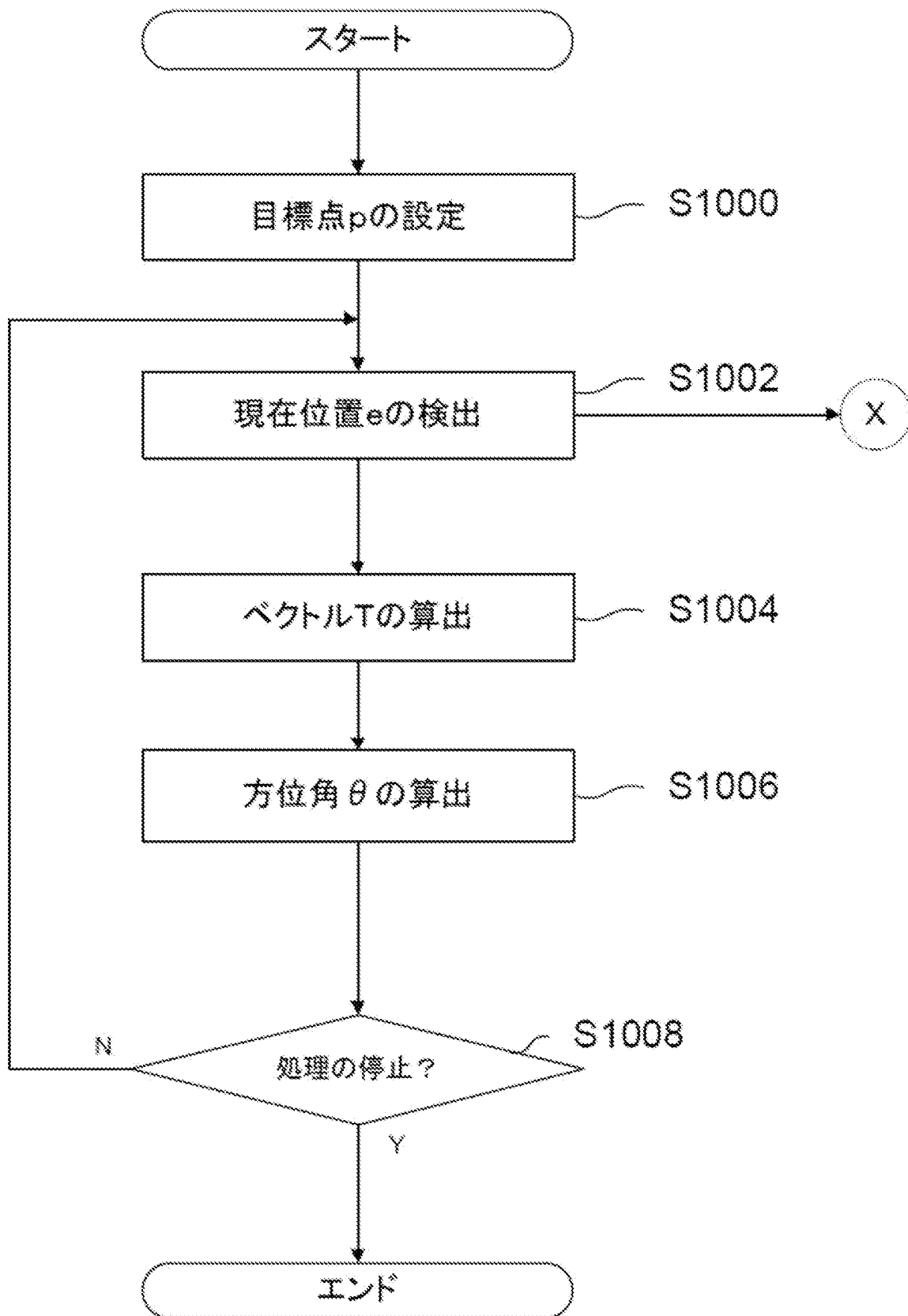
位置計測センサ10



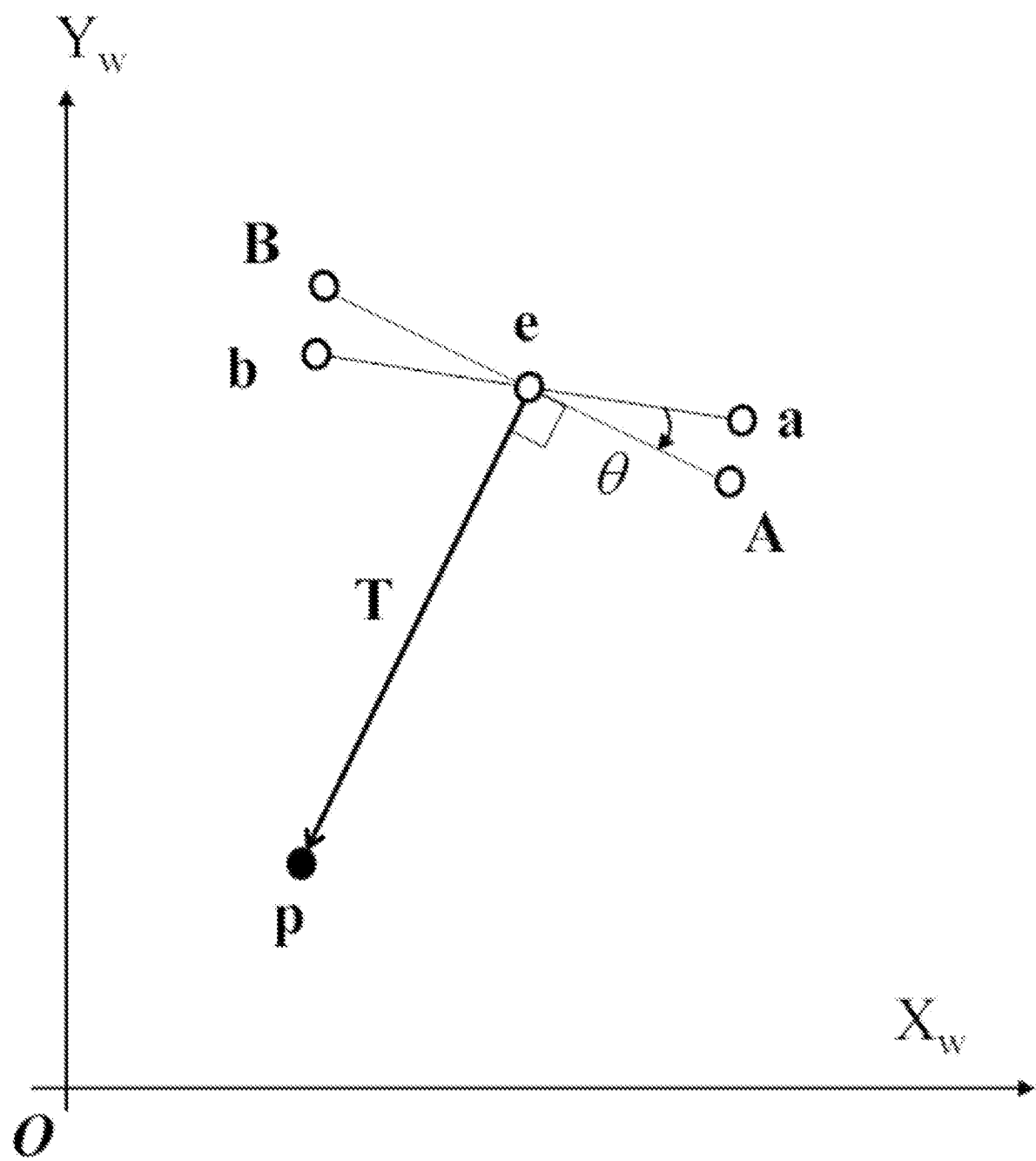
[図3]



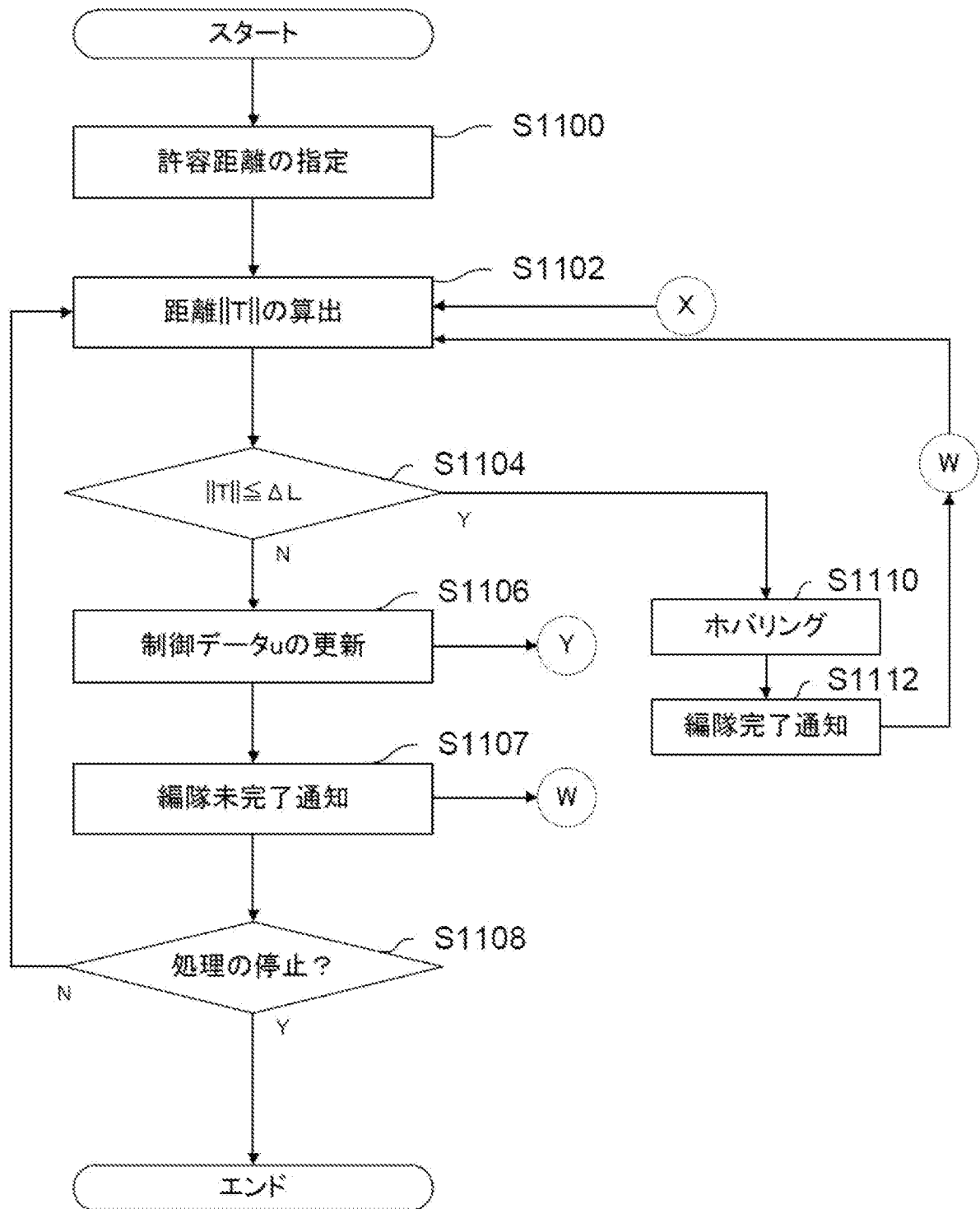
[図4]



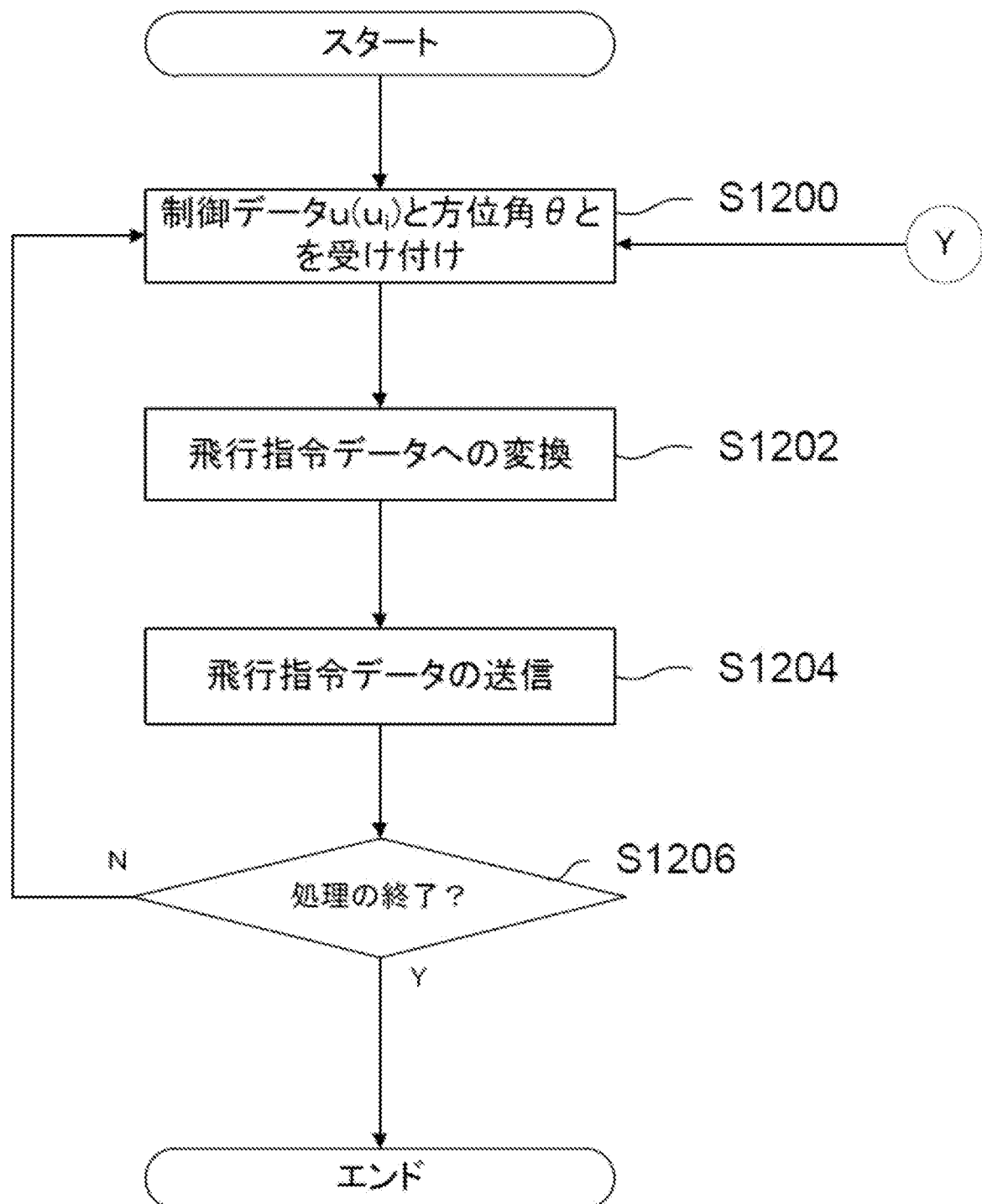
[図5]



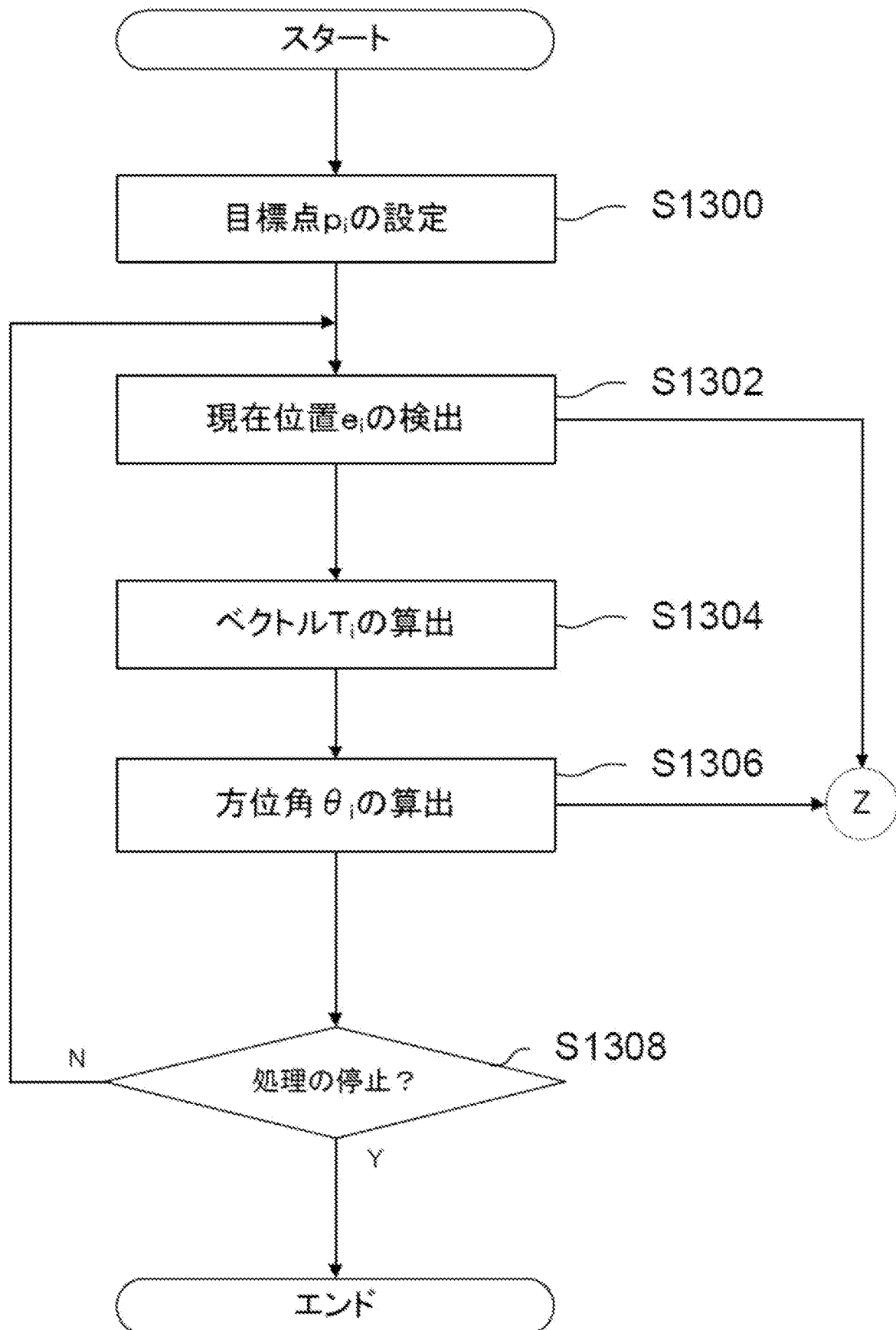
[図6]



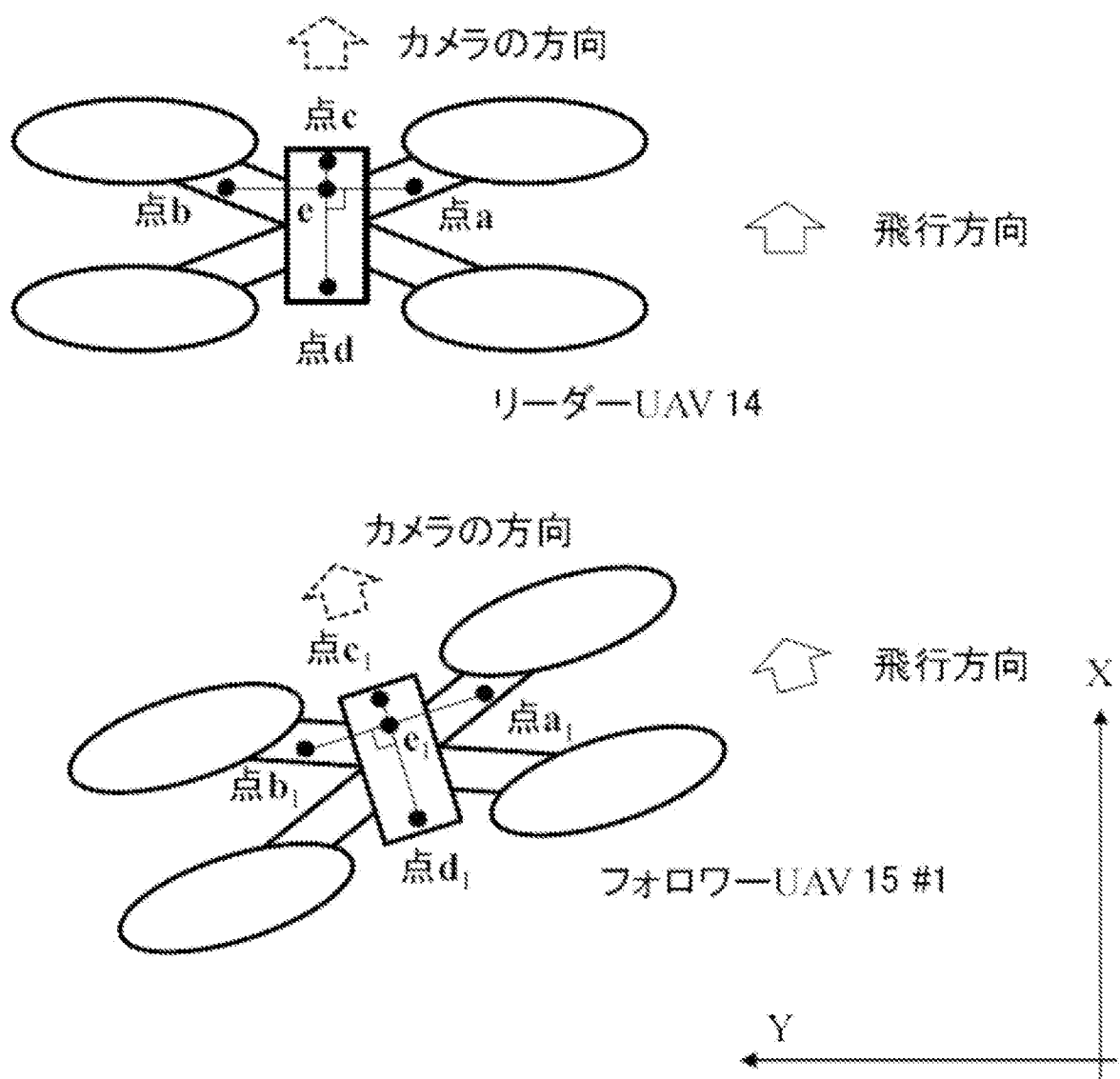
[図7]



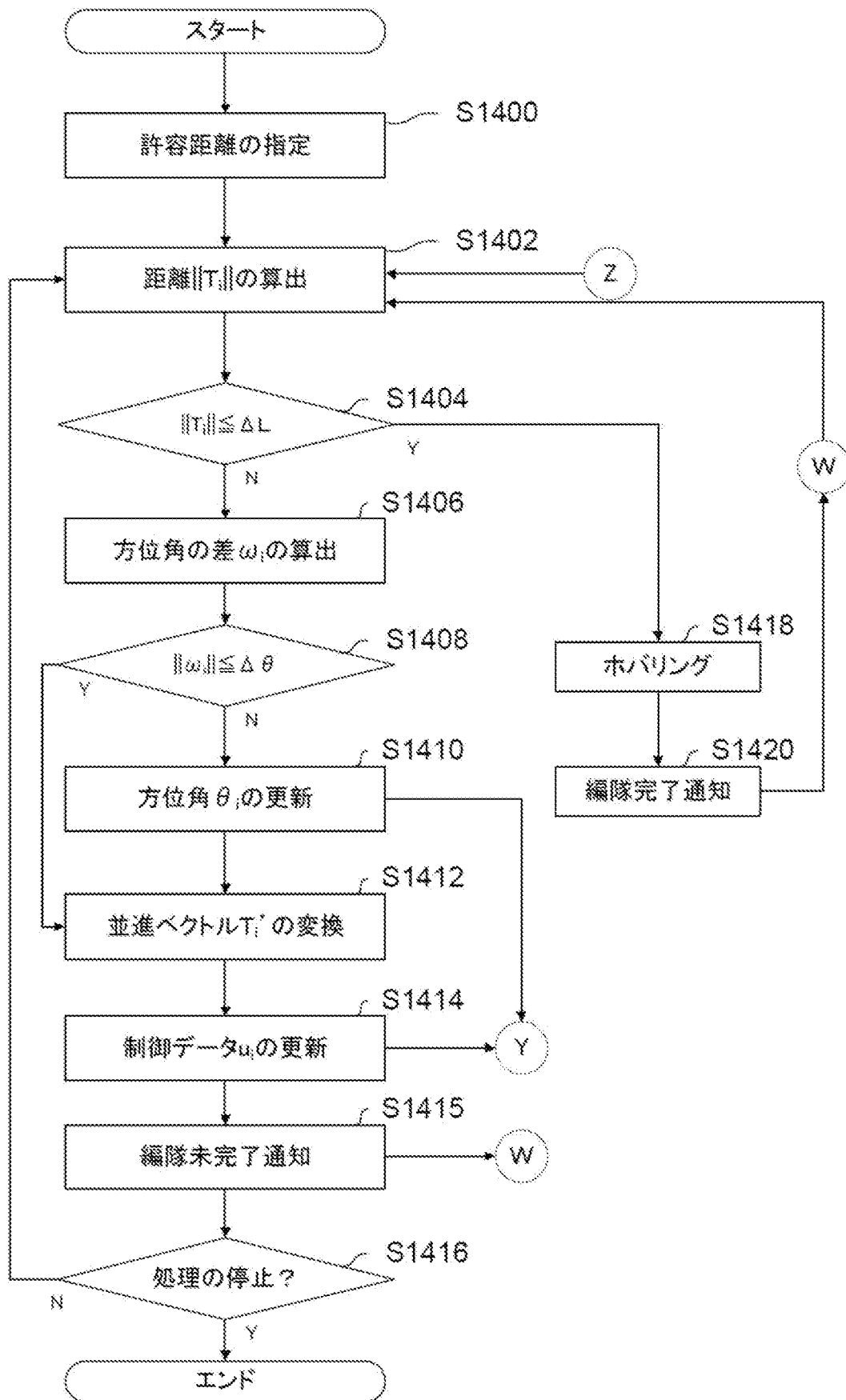
[図8]



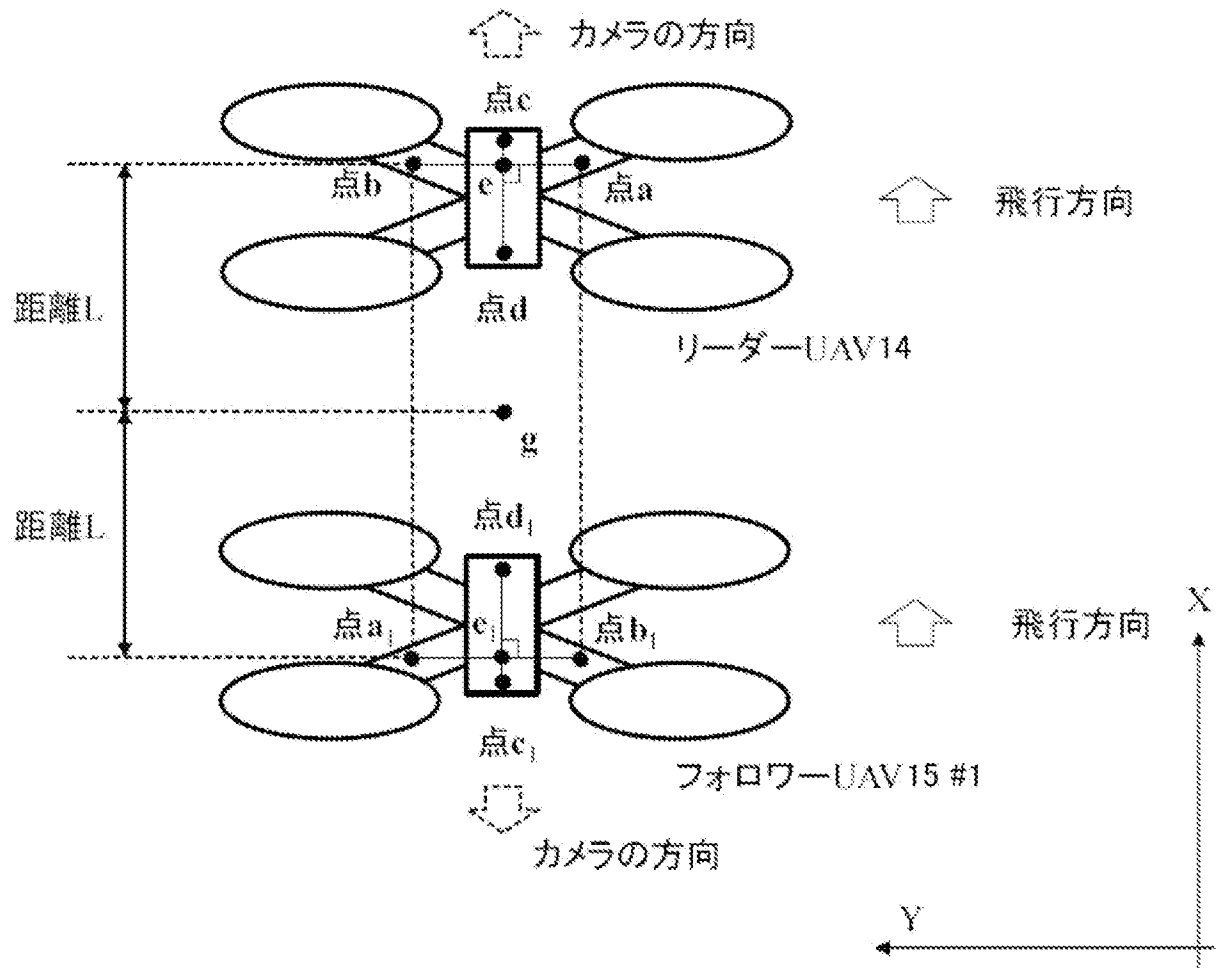
[図9]



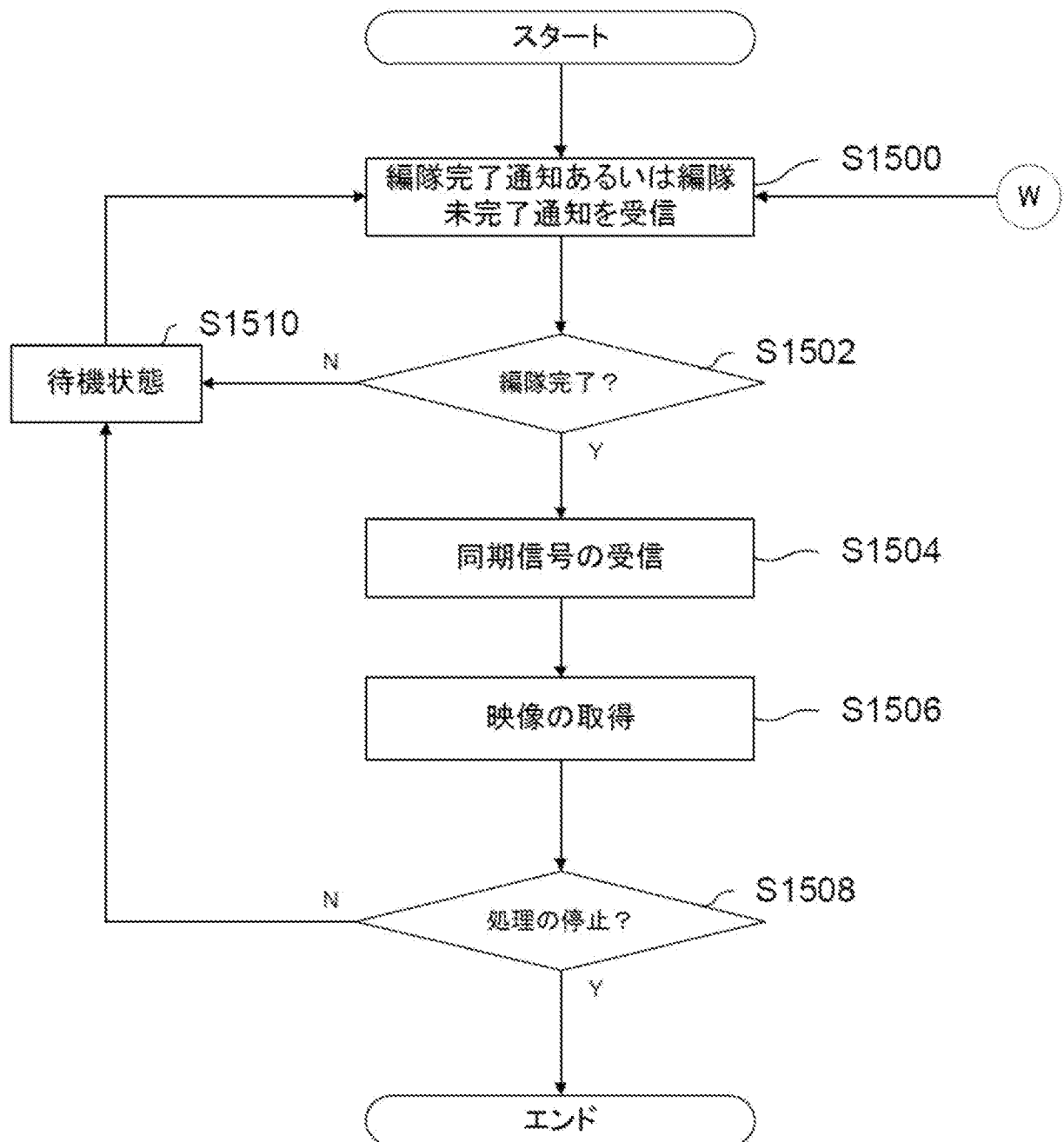
[図10]



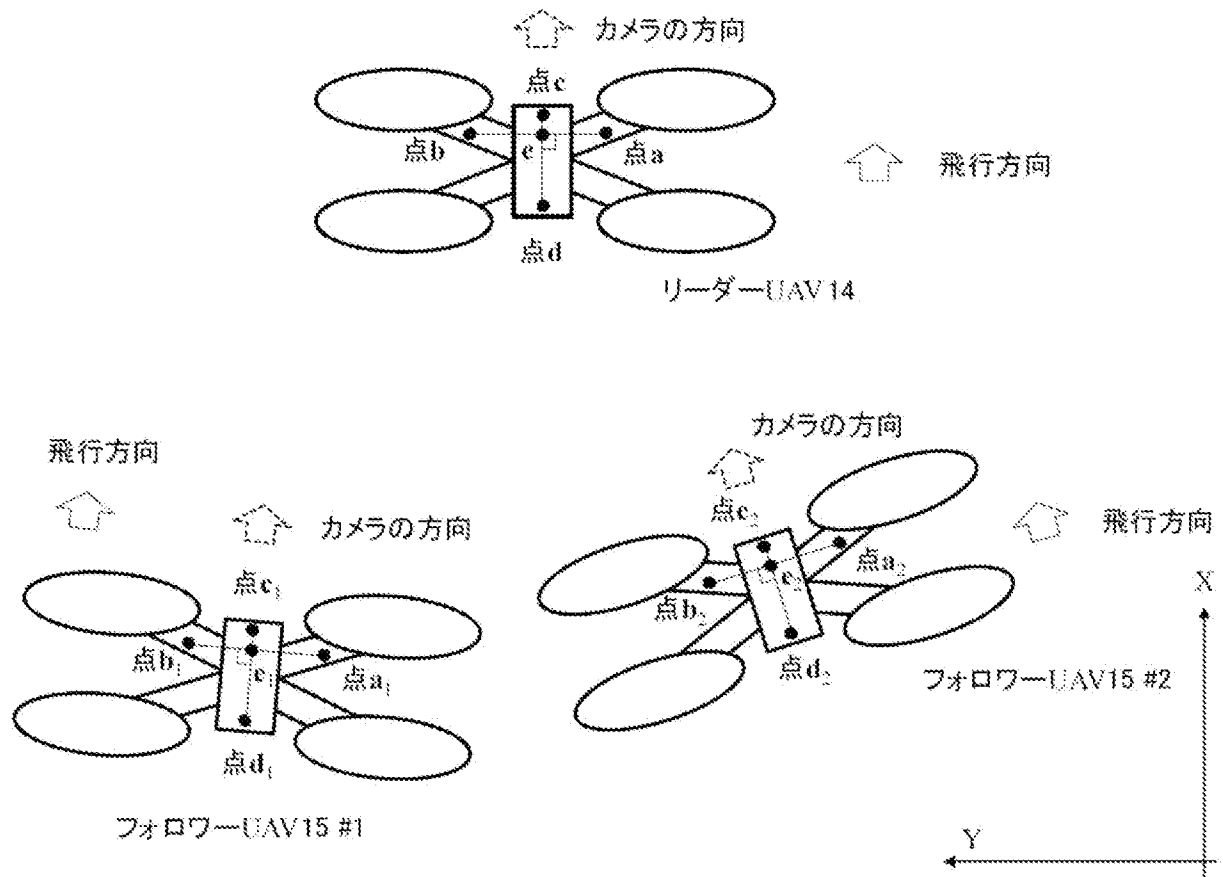
[図11]



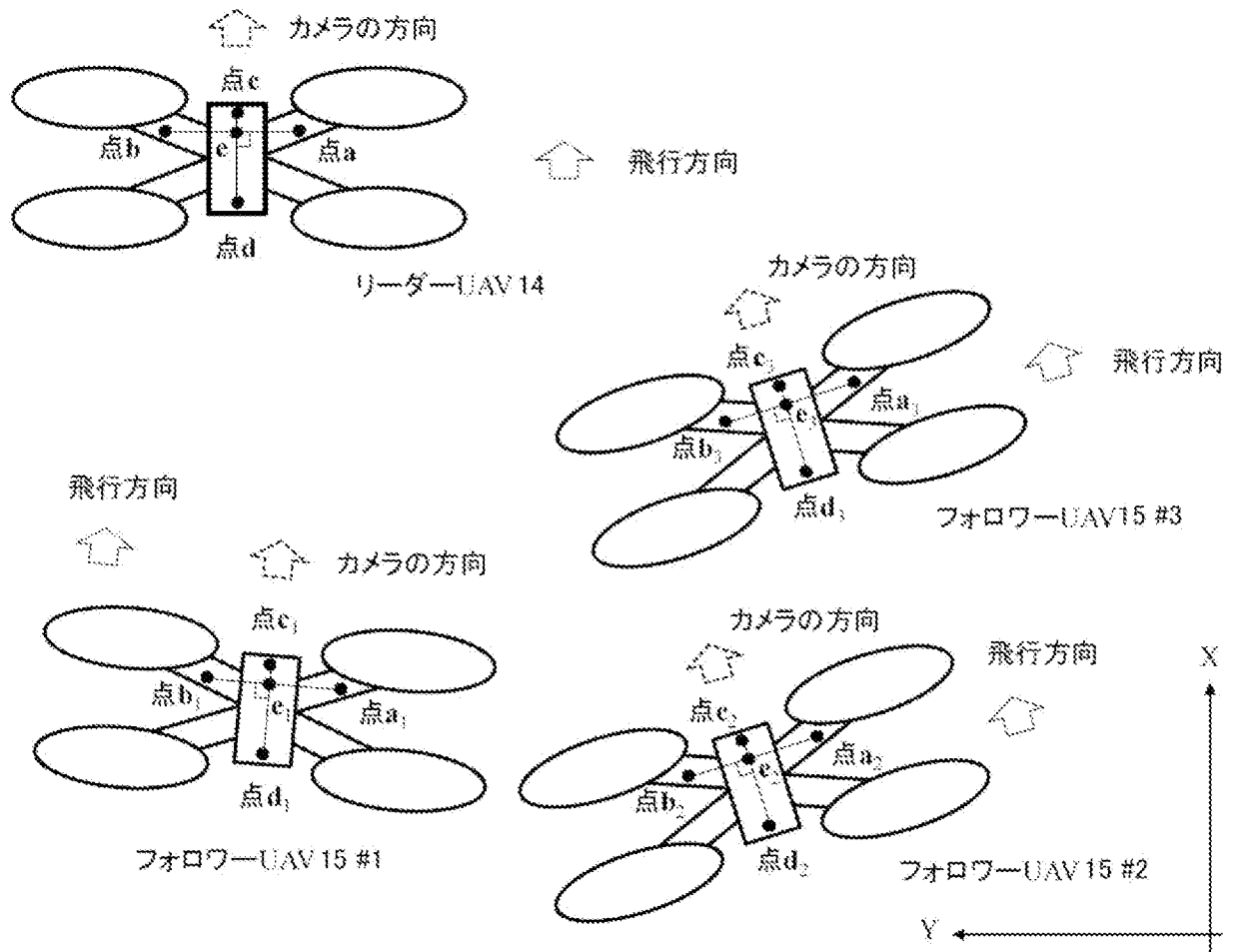
[図12]



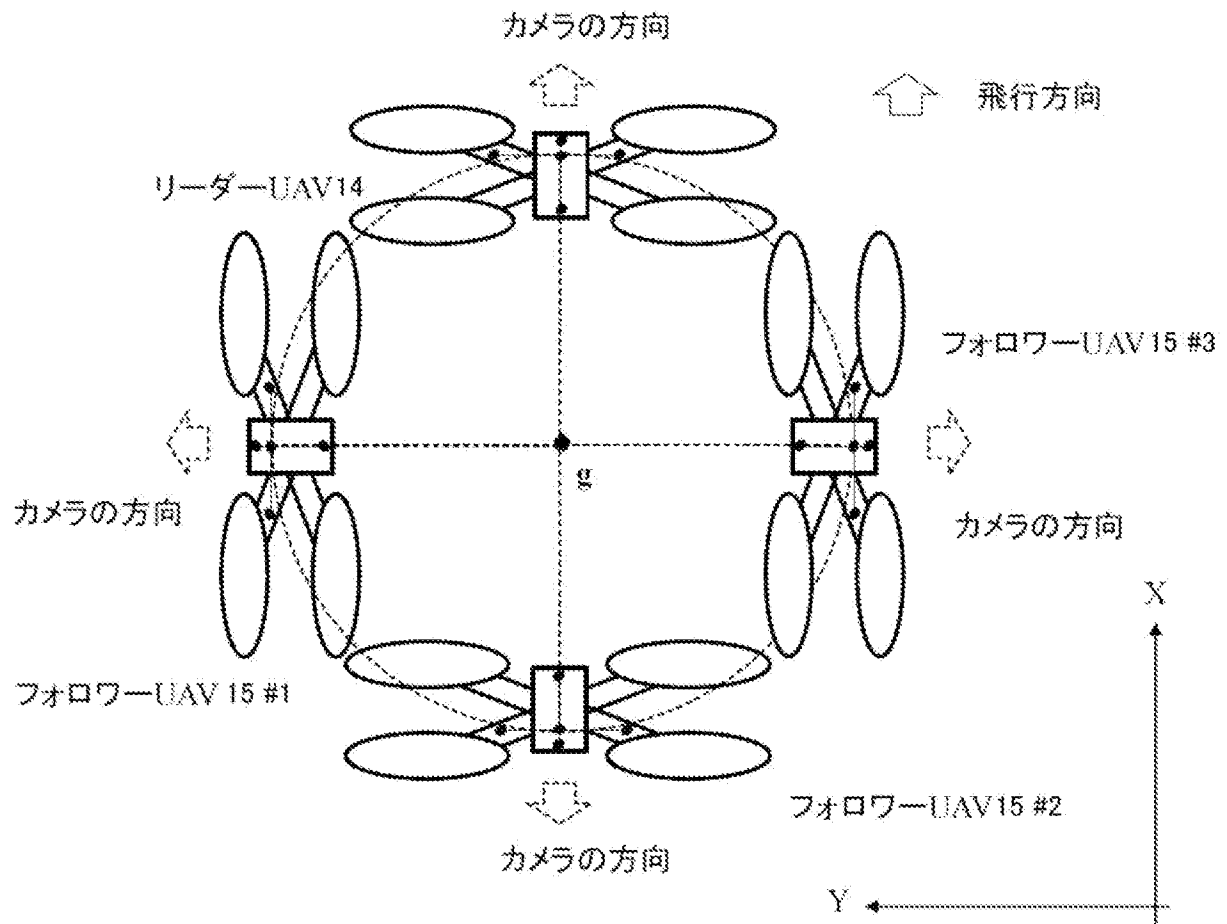
[図13]



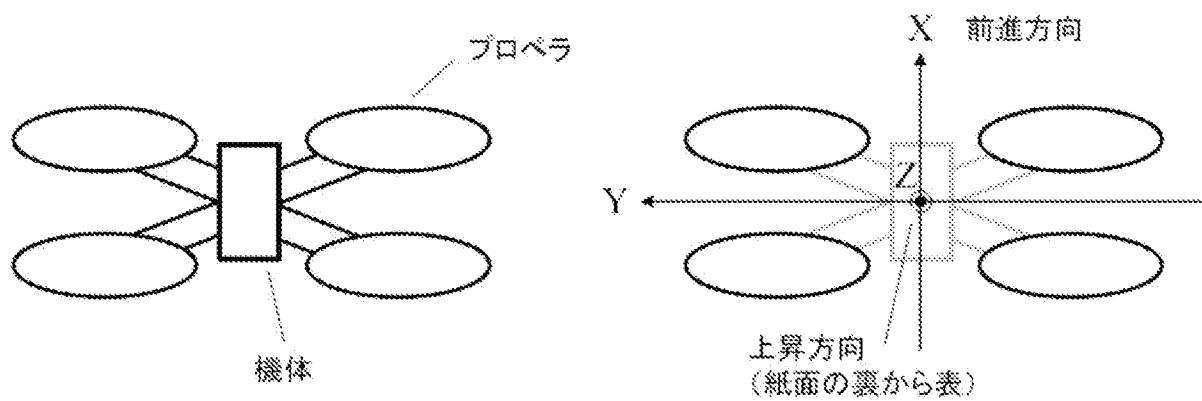
[図15]



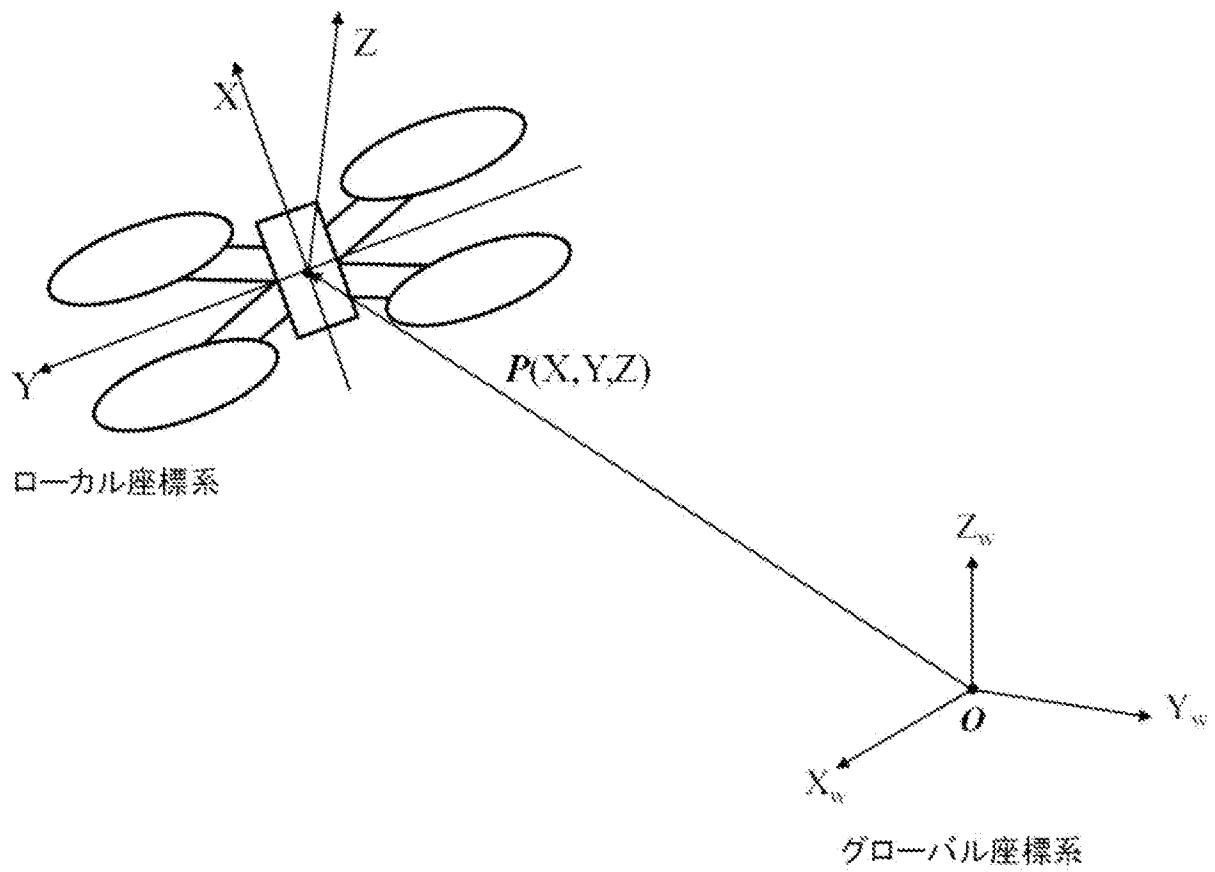
[図16]



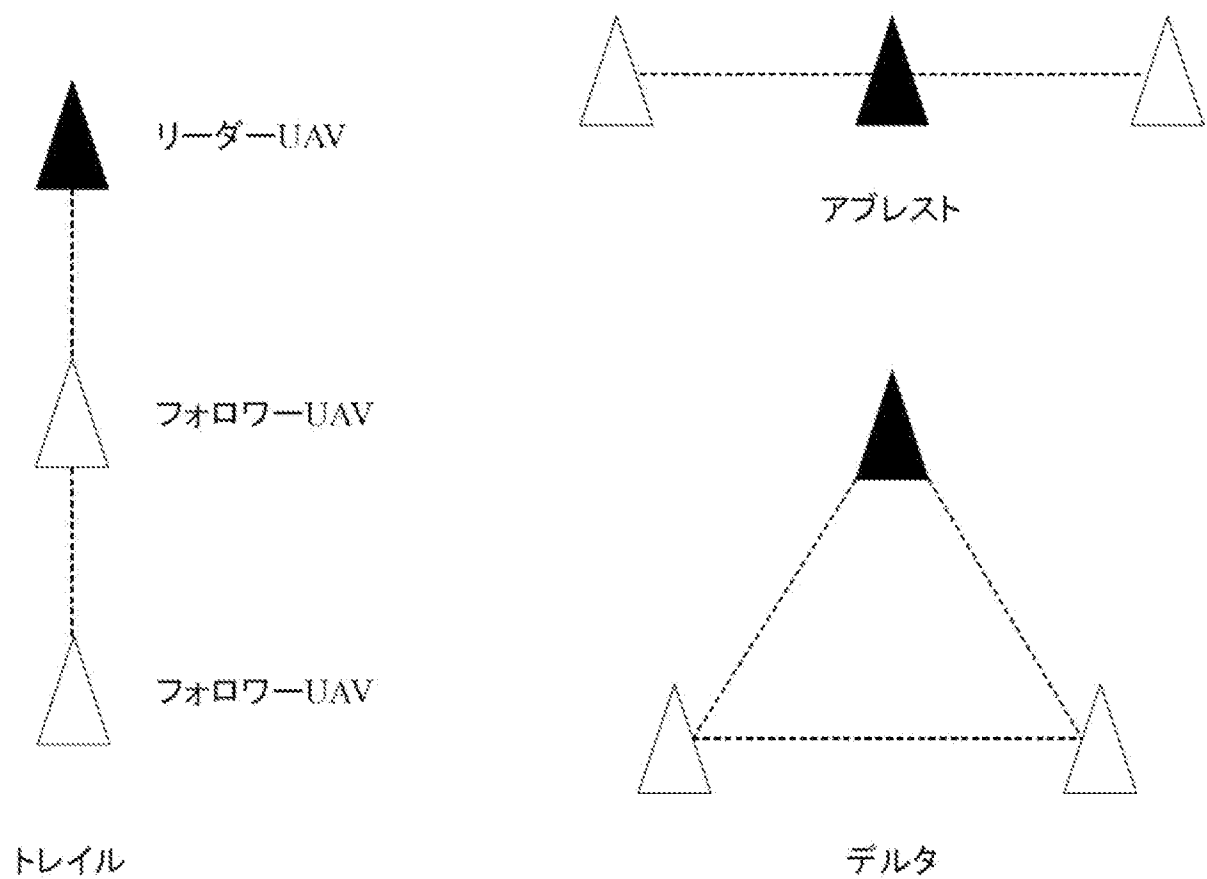
[図17]



[図18]



[図19]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2019/030974

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

Int.Cl. B64C19/02 (2006.01) i, B64C13/18 (2006.01) i, B64C39/02 (2006.01) i,
B64D45/00 (2006.01) i, G05D1/10 (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. B64C19/02, B64C13/18, B64C39/02, B64D45/00, G05D1/10

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	US 2015/0105946 A1 (THE TRUSTEES OF THE UNIVERSITY OF PENNSYLVANIA) 16 April 2015, paragraphs [0038]-[0100], fig. 1-7 & WO 2014/018147 A2 & KR 10-2015-0004915 A & CN 104718508 A	1-7
A	KR 10-2018-0054009 A (DONGGUK UNIV INDUSTRY ACADEMIC COOPERATION FOUNDATION) 24 May 2018, entire text, all drawings (Family: none)	1-7
A	JP 2018-95049 A (AUTONOMOUS CONTROL SYSTEMS LABORATORY LTD.) 21 June 2018, entire text, all drawings (Family: none)	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

"I" 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
26 September 2019 (26.09.2019)

Date of mailing of the international search report
08 October 2019 (08.10.2019)

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

Authorized officer

Telephone No.

A. 発明の属する分野の分類 (国際特許分類 (IPC))

Int.Cl. B64C19/02(2006.01)i, B64C13/18(2006.01)i, B64C39/02(2006.01)i, B64D45/00(2006.01)i, G05D1/10(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. B64C19/02, B64C13/18, B64C39/02, B64D45/00, G05D1/10

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	US 2015/0105946 A1 (THE TRUSTEES OF THE UNIVERSITY OF PENNSYLVANIA) 2015.04.16, 段落[0038]-[0100], 図 1-7 & WO 2014/018147 A2 & KR 10-2015-0004915 A & CN 104718508 A	1-7
A	KR 10-2018-0054009 A (DONGGUK UNIV INDUSTRY ACADEMIC COOPERATION FOUNDATION) 2018.05.24, 全文, 全図 (ファミリーなし)	1-7
A	JP 2018-95049 A (株式会社自律制御システム研究所) 2018.06.21, 全文, 全図 (ファミリーなし)	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

26.09.2019

国際調査報告の発送日

08.10.2019

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)

マキロイ 寛済

3D

4031

電話番号 03-3581-1101 内線 3341