

明 細 書

発明の名称：

垂直離着陸機の自動着陸システム、垂直離着陸機および垂直離着陸機の着陸制御方法

技術分野

[0001] 本発明は、垂直離着陸機の自動着陸システム、垂直離着陸機および垂直離着陸機の着陸制御方法に関する。

背景技術

[0002] 従来、垂直離着陸機を目標地点へと誘導するための技術が知られている。例えば、特許文献1には、飛行体に搭載された撮像装置で取得した離着陸ターゲットの像に基づき、離着陸ターゲットと飛行体との位置関係を演算し、演算結果に基づき飛行体の離着陸を制御する自動離着陸システムが開示されている。

先行技術文献

特許文献

[0003] 特許文献1：特開2012-071645号公報

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0004] 上記特許文献1に記載の自動離着陸システムでは、画像処理により着陸目標点を捕捉し、着陸目標点に飛行体等の垂直離着陸機を着陸させることができる。しかしながら、特許文献1には、垂直離着陸機を着陸目標点に着陸させるまでの詳細な過程は記載されていない。垂直離着陸機の着陸に際して、周囲の物体などへの干渉をさけるためには、より高精度な着陸制御が必要となる。

[0005] 本発明は、上記に鑑みてなされたものであって、垂直離着陸機を着陸目標点へと、より精度良く着陸させることを目的とする。

課題を解決するための手段

- [0006] 上述した課題を解決し、目的を達成するために、本発明にかかる垂直離着陸機の自動着陸システムは、垂直離着陸機に搭載された撮影装置と、前記撮影装置で着陸目標点に設けられたマーカーを撮影した画像に画像処理を施し、前記垂直離着陸機と前記着陸目標点との相対位置を取得する相対位置取得部と、前記垂直離着陸機と前記着陸目標点との相対高度を取得する相対高度取得部と、前記相対位置がゼロになるように、前記垂直離着陸機を複数の制御モードで制御する制御部と、を備え、前記制御モードは、ホバリングモードと、着陸モードとを含み、前記ホバリングモードは、前記相対位置が前記着陸目標点の圏内となる第1しきい値以内において実行され、前記垂直離着陸機の前記相対高度を所定相対高度まで降下させ、前記相対位置が前記第1しきい値よりも小さい所定しきい値以内であることを含む所定条件が成立すると前記着陸モードに移行し、前記着陸モードは、前記垂直離着陸機の前記相対高度をさらに降下させて前記着陸目標点に着陸させる。
- [0007] 上述した課題を解決し、目的を達成するために、本発明にかかる垂直離着陸機は、上記垂直離着陸機の自動着陸システムを備える。
- [0008] 上述した課題を解決し、目的を達成するために、本発明にかかる垂直離着陸機の着陸制御方法は、垂直離着陸機に搭載された撮影装置で着陸目標点に設けられたマーカーを撮影した画像に画像処理を施し、前記垂直離着陸機と前記着陸目標点との相対位置を取得し、前記垂直離着陸機と前記着陸目標点との相対高度を取得し、前記相対位置がゼロになるように、前記垂直離着陸機を複数の制御モードで制御し、前記制御モードは、ホバリングモードと、着陸モードとを含み、前記ホバリングモードは、前記相対位置が前記着陸目標点の圏内となる第1しきい値以内において実行され、前記垂直離着陸機の前記相対高度を所定相対高度まで降下させ、前記相対位置が前記第1しきい値よりも小さい所定しきい値以内であることを含む所定条件が成立すると前記着陸モードに移行し、前記着陸モードは、前記垂直離着陸機の前記相対高度をさらに降下させて前記着陸目標点に着陸させる。

発明の効果

[0009] 本発明にかかる垂直離着陸機の自動着陸システム、垂直離着陸機および垂直離着陸機の着陸制御方法は、垂直離着陸機を着陸目標点へと、より精度良く着陸させることができるという効果を奏する。

図面の簡単な説明

[0010] [図1]図1は、第一実施形態にかかる垂直離着陸機の自動着陸システムの一例を示す概略構成図である。

[図2]図2は、第一実施形態にかかる垂直離着陸機が着陸目標点に向かう様子を示す説明図である。

[図3]図3は、着陸目標点に設けられるマーカーの一例を示す説明図である。

[図4]図4は、第一実施形態にかかる垂直離着陸機の着陸制御方法の処理手順の一例を示すフローチャートである。

[図5]図5は、第一実施形態にかかる垂直離着陸機の着陸動作を示す説明図である。

[図6]図6は、アプローチモードにおける処理手順の一例を示すフローチャートである。

[図7]図7は、高高度ホバリングモードにおける処理手順の一例を示すフローチャートである。

[図8]図8は、低高度ホバリングモードにおける処理手順の一例を示すフローチャートである。

[図9]図9は、着陸モードにおける処理手順の一例を示すフローチャートである。

[図10]図10は、相対位置演算処理の一例を示すフローチャートである。

[図11]図11は、第二実施形態にかかる垂直離着陸機の自動着陸システムの一例を示す概略構成図である。

[図12]図12は、第二実施形態における高高度ホバリングモードの処理手順の一例を示すフローチャートである。

[図13]図13は、第二実施形態における低高度ホバリングモードの処理手順

の一例を示すフローチャートである。

[図14]図14は、第三実施形態にかかる垂直離着陸機の自動着陸システムの一例を示す概略構成図である。

[図15]図15は、第三実施形態における高高度ホバリングの処理手順の一例を示すフローチャートである。

[図16]図16は、第三実施形態における低高度ホバリングの処理手順の一例を示すフローチャートである。

発明を実施するための形態

[0011] 以下に、本発明にかかる垂直離着陸機の自動着陸システム、垂直離着陸機および垂直離着陸機の着陸制御方法の実施形態を図面に基づいて詳細に説明する。なお、この実施形態によりこの発明が限定されるものではない。

[0012] [第一実施形態]

図1は、第一実施形態にかかる垂直離着陸機の自動着陸システムの一例を示す概略構成図であり、図2は、第一実施形態にかかる垂直離着陸機が着陸目標点に向かう様子を示す説明図である。第一実施形態にかかる垂直離着陸機1は、回転翼機としての飛行体（例えばヘリコプタ、ドローン等）である。本実施形態において、垂直離着陸機1は、無人機である。なお、垂直離着陸機1は、前進、後進、旋回、横進、ホバリングが可能な飛行体であればよく、有人機であってもよい。また、垂直離着陸機1が無人機である場合、自動操縦による無人機の飛行制御中において、遠隔手動操縦が実行されたときには、遠隔手動操縦に基づく飛行制御が優先される。同様に、垂直離着陸機1が有人機である場合、自動操縦による有人機の飛行制御中において、手動操縦が実行されたときには、手動操縦に基づく飛行制御が優先される。この垂直離着陸機1は、自動着陸システム100を搭載しており、自動着陸システム100により飛行が制御され、図2に示す着陸目標点2に着陸する。

[0013] (着陸目標点)

本実施形態において、着陸目標点2は、図2に示すように、船舶5上に設けられている。したがって、垂直離着陸機1は、水上を移動する移動体とし

ての船舶5に着陸（着船）する。ただし、着陸目標点2は、船舶5に限らず、地上を移動する移動体としての車両等に設けられてもよいし、移動しない設備、地面に設けられてもよい。なお、船舶5には、図示省略するが、着陸目標点2に垂直離着陸機1を着船させた際に、垂直離着陸機1を拘束するための拘束装置が設けられている。

[0014] 着陸目標点2には、垂直離着陸機1が着陸目標点2の位置を捕捉するためのマーカー7が設けられている。図3は、着陸目標点に設けられるマーカーの一例を示す説明図である。図示するように、マーカー7は、例えば白黒の2色で色分けされたARマーカーであり、正形状のマーカーである。なお、マーカー7は、ARマーカーに限らず、画像処理により着陸目標点2の位置を捕捉することができるマーカーであればよく、例えばヘリポートの着陸点を示すHマーク、Rマーク等であってもよい。また、マーカー7は、船舶5に異なる形状のマーカーが複数設けられてもよく、垂直離着陸機1は、異なるマーカー7のいずれかに対応した着陸目標点2に誘導されるものであってもよい。

[0015] (船舶)

船舶5は、図1に示すように、航法装置70と、データ伝送装置80と、操作表示部90とを備える。航法装置70は、例えば、慣性航法装置（*I N S : I n e r t i a l N a v i g a t i o n S y s t e m*）であり、船舶5のピッチ方向およびロール方向の姿勢角、船首方位、速度、加速度および地球座標系における位置座標等を取得する。なお、本実施形態において、航法装置70は、慣性航法装置に適用して説明するが、特に限定されず、いずれの航法装置70を用いてもよい。また、航法装置70は、本実施形態において、位置の計測精度を向上させるために、位置計測部としてのGPS（*G l o b a l P o s i t i o n i n g S y s t e m*）を含んだ慣性航法装置となっている。本実施形態では、GPSを含んだ慣性航法装置に適用して説明するが、GPSに特に限定されず、精度よく位置を計測可能な位置計測部であればよく、例えば、準天頂衛星システムを用いたものであってもよ

いし、航法装置 70 のみで精度よく位置を計測可能であれば、GPS 等の位置計測部を省いた構成であってもよい。また、航法装置 70 は、各種データの少なくとも一部をセンサで取得するものとしてもよい。データ伝送装置 80 は、後述する自動着陸システム 100 に含まれ、垂直離着陸機 1 に搭載されたデータ伝送装置 40 と無線通信により各種信号をやり取りする。操作表示部 90 は、船舶 5 に乗員するオペレータが制御ステータスを把握し、各種指示を入力するユーザーインターフェースである。操作表示部 90 によりオペレータが入力する指示としては、例えば、後述する制御モードの移行指示が含まれる。移行指示の詳細については、後述する。操作表示部 90 で入力された指示は、データ伝送装置 80 からデータ伝送装置 40 へと送信される。また、垂直離着陸機 1 の制御ステータスは、データ伝送装置 40 からデータ伝送装置 80 へと送信される。つまり、データ伝送装置 40 及びデータ伝送装置 80 は双方向通信が可能となっている。

[0016] (自動着陸システム)

第一実施形態にかかる垂直離着陸機の自動着陸システム 100 は、飛行中の垂直離着陸機 1 を着陸目標点 2 に着陸させるために、垂直離着陸機 1 の位置を制御するシステムである。自動着陸システム 100 は、垂直離着陸機 1 に搭載される。自動着陸システム 100 は、図 1 に示すように、カメラ 10 と、航法装置 20 と、制御部 30 と、データ伝送装置 40 とを備える。

[0017] (撮影装置)

カメラ 10 は、垂直離着陸機 1 に図示しないジンバルを介して搭載された撮影装置である。カメラ 10 は、マーカー 7 を撮影することができれば、単眼カメラ、複眼カメラ、赤外線カメラ等であってもよい。カメラ 10 は、垂直離着陸機 1 から着陸目標点 2 に設けられたマーカー 7 を撮影するために設けられる。カメラ 10 は、図示しないジンバルを介して撮影方向を調整可能とされている。本実施形態において、カメラ 10 は、その撮影範囲（画角）B（図 2 参照）が、一例として、鉛直方向の真下を向くように制御部 30 によって制御される。なお、カメラ 10 は、撮影範囲 B が、鉛直方向に対して

斜め前方側を向くように制御部 30 によって制御されてもよい。また、カメラ 10 は、ジンバルを省いてもよく、撮影方向が、例えば、鉛直方向の下方側を向くように、垂直離着陸機 1 の機体直下に固定してもよい。

[0018] (航法装置)

航法装置 20 は、航法装置 70 と同様に、例えば、GPS を含んだ慣性航法装置となっている。なお、航法装置 20 も、航法装置 70 と同様に、GPS 等の位置計測部を含む慣性航法装置であってもよいし、GPS 等の位置計測部を省いた慣性航法装置であってもよく、特に限定されない。GPS を含んだ航法装置 20 は、垂直離着陸機 1 のピッチ方向およびロール方向の姿勢角、機首方位、垂直離着陸機 1 の機体速度、機体加速度および地球座標系における位置座標等を取得する。なお、航法装置 20 は、垂直離着陸機 1 の姿勢角を検出する姿勢角センサ、垂直離着陸機 1 の機体速度を検出する速度検出センサ、垂直離着陸機 1 の機体加速度を検出する加速度検出センサ、垂直離着陸機 1 の機首方位を検出するセンサを有するものであってもよい。航法装置 20 は、取得した垂直離着陸機 1 の姿勢角、機体速度、機体加速度および位置座標を制御部 30 に出力する。

[0019] また、自動着陸システム 100 は、図 1 に示すように、垂直離着陸機 1 の地表面または水面からの高度を検出する高度センサ 25 を備えている。高度センサ 25 は、例えば、レーザ高度計であり、垂直離着陸機 1 から着陸目標点 2 までの相対高度 Δh (図 2 参照) を計測している。なお、高度センサ 25 としては、電波高度計を用いてもよいし、気圧高度計を用いてもよく、いずれの高度計を用いてもよい。また、これらの高度計を、使用環境に応じて、すなわち地表面からの高度、海面からの高度を計測するために、適宜組み合わせ合わせて適用してもよい。高度センサ 25 は、検出した垂直離着陸機 1 の相対高度 Δh を制御部 30 に出力する。なお、高度センサ 25 は、垂直離着陸機 1 の高度を計測して制御部 30 に出力し、制御部 30 は、後述する誘導演算部 34 において、垂直離着陸機 1 の高度に基づいて、着陸目標点 2 までの相対高度 Δh (図 2 参照) を算出するものであってもよい。また、自動着陸

システム100は、高度センサ25に限らず、後述する画像処理部32において、カメラ10で撮影したマーカー7を含む画像に画像処理を施すことで、垂直離着陸機1と船舶5との相対高度 Δh を算出するものであってもよい。

[0020] (制御部)

制御部30は、画像処理部32と、誘導演算部34と、飛行制御部36とを有する。なお、制御部30は、垂直離着陸機1に設けられた図示しないジンバルを介して、カメラ10の撮影方向を制御する図示しない撮影制御部を備えている。本実施形態では、上述したように、カメラ10の撮影範囲Bが鉛直方向の真下を向くように調整される。

[0021] (画像処理部)

画像処理部32は、カメラ10で撮影された画像に画像処理を施して、マーカー7すなわち着陸目標点2の中心(C_x 、 C_y) (図3参照)を算出する。ここでの中心(C_x 、 C_y)は、カメラ10で撮影された画像の中心を原点とするカメラ固定座標系における座標点であり、画像中心からの画素数により算出することができる。具体的には、画像処理部32は、図3に示すように、画像処理によってマーカー7の角部同士の間を延びる対角線 L_d を2つ特定し、特定した2つの対角線 L_d の交点をマーカー7の中心(C_x 、 C_y)とする。なお、着陸目標点2は、マーカー7の中心(C_x 、 C_y)に限定されず、マーカー7の四隅のいずれかであってもよいし、マーカー7の中心からオフセットした位置であってもよい。

[0022] なお、画像処理部32は、対角線 L_d を1つのみ特定し、特定した対角線 L_d の長さの中心位置をマーカー7の中心(C_x 、 C_y)としてもよい。また、画像処理部32は、対角線 L_d を2つ以上特定し、特定した対角線 L_d の長さの中心位置の平均となる位置をマーカー7の中心(C_x 、 C_y)としてもよい。さらに、画像処理部32は、正形状のマーカー7を射影変換による関数を用いて台形補正するとき、関数に基づいて正方形の中心(C_x 、 C_y)を算出してもよい。その際、マーカー7の四隅の座標点、またはマ-

カー 7 の白黒に色分けされた境界の各点の座標点を用いて台形補正を行い、他の座標点は内挿補間により算出してもよい。画像処理部 3 2 は、算出したマーカー 7 の中心 (C_x 、 C_y) を誘導演算部 3 4 に出力する。

[0023] また、画像処理部 3 2 は、上述したように、カメラ 1 0 で撮影したマーカー 7 を含む画像に画像処理を施すことで、垂直離着陸機 1 と船舶 5 との相対高度 Δh を算出するものであってもよい。さらに、画像処理部 3 2 は、カメラ 1 0 で撮影したマーカー 7 を含む画像に画像処理を施すことで、マーカー 7 の向きを特定し、航法装置 2 0 で取得される垂直離着陸機 1 の機首方位と対応づけることで、船舶 5 の船首方位を算出してもよい。なお、船舶 5 に、船首方位を算出するためのマーカーを別途設けてもよい。

[0024] (誘導演算部)

誘導演算部 3 4 は、垂直離着陸機 1 を着陸目標点 2 に誘導するための垂直離着陸機 1 の制御量を算出する。制御量は、垂直離着陸機 1 の機体速度、姿勢角、姿勢角の変化レート等を調整するための制御量である。誘導演算部 3 4 は、制御量を算出するために、垂直離着陸機 1 と着陸目標点 2 との相対位置 (X 、 Y) および垂直離着陸機 1 と着陸目標点 2 との相対速度を算出する。

[0025] 誘導演算部 3 4 は、画像処理部 3 2 で算出されたマーカー 7 の中心 (C_x 、 C_y) と、カメラ 1 0 の方位すなわち垂直離着陸機 1 の機首方位と、垂直離着陸機 1 の高度 (着陸目標点 2 に対する相対高度 Δh) とに基づいて、垂直離着陸機 1 と着陸目標点 2 との相対位置 (X 、 Y) を算出する。なお、本実施形態では、カメラ 1 0 の方位と垂直離着陸機 1 の機首方位とを一致させたが、特に限定されず、カメラ 1 0 の方位と垂直離着陸機 1 の機首方位とを一致させなくてもよい。このように、画像処理部 3 2 および誘導演算部 3 4 は、垂直離着陸機 1 と着陸目標点 2 との相対位置を取得する相対位置取得部として機能する。相対位置 (X 、 Y) は、水平方向における垂直離着陸機 1 と着陸目標点 2 との距離となる。より詳細には、誘導演算部 3 4 は、画像処理部 3 2 で算出されたカメラ固定座標系におけるマーカー 7 の中心 (C_x 、

Cy) を、垂直離着陸機 1 の機首方位と垂直離着陸機 1 の高度（着陸目標点 2 に対する相対高度 Δh ）とに基づいて船慣性系における垂直離着陸機 1 と着陸目標点 2 との相対位置に変換し、さらに、航空機慣性系における垂直離着陸機 1 と着陸目標点 2 との相対位置（X、Y）に変換する。このとき、誘導演算部 34 は、垂直離着陸機 1 の機首方位と垂直離着陸機 1 の高度（着陸目標点 2 に対する相対高度 Δh ）とに基づいて航空機慣性系における垂直離着陸機 1 と着陸目標点 2 との相対位置（X、Y）に直接的に変換してもよい。なお、船慣性系は、着陸目標点 2 を原点として、船舶 5 の船首方位に沿った方向、船舶 5 の船首方位と水平方向で直交する方向、鉛直方向を直交軸とする座標系である。また、航空機慣性系は、図 2 に示すように、垂直離着陸機 1 を原点として、垂直離着陸機 1 の機首方位に沿った方向を X 軸、垂直離着陸機 1 の機首方位と水平方向で直交する方向を Y 軸、鉛直方向を Z 軸とする座標系である。

[0026] また、誘導演算部 34 は、航法装置 20 で取得された垂直離着陸機 1 の地球座標系における位置座標と、船舶 5 の航法装置 70 で取得され、データ伝送装置 40、80 の通信により得られた船舶 5 の地球座標系における位置座標とに基づいて、垂直離着陸機 1 と着陸目標点 2 との相対位置（ X_{GPS} 、 Y_{GPS} ）を算出する。したがって、誘導演算部 34 は、GPS により取得された垂直離着陸機 1 の位置座標と、データ伝送装置 40 により取得した着陸目標点 2 が設けられた船舶 5 の位置座標とに基づいて、垂直離着陸機 1 と着陸目標点 2 との相対位置（ X_{GPS} 、 Y_{GPS} ）を算出する第 2 の相対位置取得部として機能する。

[0027] また、誘導演算部 34 は、垂直離着陸機 1 と着陸目標点 2 との相対速度を算出する。したがって、誘導演算部 34 は、垂直離着陸機 1 と着陸目標点 2 との相対速度を取得する相対速度取得部として機能する。より詳細には、誘導演算部 34 は、例えば、航法装置 20、70 で取得される垂直離着陸機 1 の機体速度と船舶 5 の船体速度との差分により、相対速度を算出する。また、誘導演算部 34 は、相対位置（X、Y）の擬似微分に基づいて相対速度を

算出してもよい。つまり、誘導演算部34は、相対速度を取得する相対速度取得部として機能する。また、誘導演算部34は、垂直離着陸機1の機首方位と船舶5の船首方位との相対方位を算出する。

[0028] また、誘導演算部34は、高度センサ25で検出された垂直離着陸機1の高度に基づいて、着陸目標点20までの相対高度 Δh を算出する。したがって、高度センサ25および誘導演算部34は、垂直離着陸機1と着陸目標点2との相対高度 Δh を取得する相対高度取得部として機能する。なお、画像処理部32において、カメラ10で撮影したマーカー7を含む画像に画像処理を施すことで、垂直離着陸機1と船舶5との相対高度 Δh を算出する場合は、画像処理部32が相対高度取得部となる。

[0029] そして、誘導演算部34は、相対位置(X、Y)、相対速度、相対方位および機体加速度に基づいて、フィードバック制御(例えばPID制御)により制御量を算出する。第一実施形態において、誘導演算部34は、相対位置(X、Y)および相対方位がゼロとなるように、フィードバック制御によって垂直離着陸機1の制御量を算出する。また、誘導演算部34は、相対速度が所定速度以内となるように、また、機体加速度が所定加速度以内となるように、フィードバック制御によって垂直離着陸機1の制御量を算出してもよい。所定速度以内および所定加速度以内としては、垂直離着陸機1が所定の相対高度 Δh において安定して飛行できているといえる状態であることを満たすような範囲となっている。例えば、所定速度としてはゼロであり、所定加速度としてはゼロである。誘導演算部34は、算出した制御量を飛行制御部36に出力する。誘導演算部34は、このような制御量の算出において、垂直離着陸機1を着陸目標点へと誘導して着陸させるために、垂直離着陸機1を複数の制御モードで制御する。複数の制御モードは、アプローチモードと、高高度ホバリングモードおよび低高度ホバリングモードを含むホバリングモードと、着陸モードとを含む。各制御モードの詳細については、後述する。

[0030] (飛行制御部)

飛行制御部 36 は、後述する誘導演算部 34 で算出された制御量にしたがって、垂直離着陸機 1 の各構成要素を制御して垂直離着陸機 1 を飛行させる。飛行制御部 36 は、制御量にしたがって各回転翼のブレードピッチ角、回転数等を制御し、垂直離着陸機 1 の機体速度、姿勢角、姿勢角の変化レート等を調整する。それにより、垂直離着陸機 1 は、着陸目標点 2 へと誘導される。なお、本実施形態では、画像処理部 32 および誘導演算部 34 を飛行制御部 36 とは別の機能部として説明するが、飛行制御部 36、画像処理部 32 および誘導演算部 34 は、一体の機能部であってもよい。すなわち、飛行制御部 36 において画像処理部 32 および誘導演算部 34 の処理を行ってもよい。

[0031] (垂直離着陸機の着陸制御方法)

次に、第一実施形態にかかる垂直離着陸機の着陸制御方法として、制御部 30 により垂直離着陸機 1 を着陸目標点 2 へと誘導して着陸させるための手順について説明する。図 4 は、第一実施形態にかかる垂直離着陸機の着陸制御方法の処理手順の一例を示すフローチャートである。図 5 は、第一実施形態にかかる垂直離着陸機の着陸動作を示す説明図である。図 6 は、アプローチモードにおける処理手順の一例を示すフローチャートである。図 7 は、高高度ホバリングモードにおける処理手順の一例を示すフローチャートである。図 8 は、低高度ホバリングモードにおける処理手順の一例を示すフローチャートである。図 9 は、着陸モードにおける処理手順の一例を示すフローチャートである。また、図 10 は、相対位置演算処理の一例を示すフローチャートである。図 4 から図 10 に示す処理は、誘導演算部 34 により実行される。

[0032] 先ず、図 4 及び図 5 を参照して、垂直離着陸機 1 の着陸動作について説明する。垂直離着陸機 1 は、飛行状態から、船舶 5 に着陸（着船）する一連の着陸動作において、複数の制御モードを実行する。具体的に、垂直離着陸機 1 は、アプローチモードを実行するステップ S1 と、高高度ホバリングモードを実行するステップ S2 と、低高度ホバリングモードを実行するステップ

S 3 と、着陸モードを実行するステップ S 4 とを順に行うことで、一連の着陸動作を行っている。また、垂直離着陸機 1 は、高高度ホバリングモード、及び低高度ホバリングモードの実行を中断して、着陸動作を中断する非常モードを実行するステップ（後述のステップ S 1 7）を行っている。

[0033] 図 5 に示すように、アプローチモードは、船舶 5 からの指令により、垂直離着陸機 1 を船舶 5 の甲板上に進入させ、着陸目標点 2 となるマーカー 7 上において、垂直離着陸機 1 をホバリングさせるモードとなっている。高高度ホバリングモードは、垂直離着陸機 1 が、甲板上のマーカー 7 をカメラ 1 0 により捕捉し、マーカー 7 の中心となる着陸目標点 2 がカメラ 1 0 の撮影範囲（画角）B の中心にくるように、ホバリングするモードとなっている。低高度ホバリングモードは、垂直離着陸機 1 が降下を行い、高高度ホバリングモードよりも低高度でホバリングを行うモードとなっている。着陸モードは、垂直離着陸機 1 が着陸目標点 2 に着陸するモードとなっている。非常モードは、船舶 5 への垂直離着陸機 1 の着陸動作を中断して上昇するモードとなっている。

[0034] 垂直離着陸機 1 は、これらの制御モードを実行することにより、船舶 5 に対して着陸動作を実行する。次に、図 6 から図 1 0 を参照して、各制御モードについて、具体的に説明する。

[0035] （アプローチモード）

誘導演算部 3 4 は、ステップ S 1 として、アプローチモードを実行する。アプローチモードについて、図 6 を参照しながら詳細に説明する。誘導演算部 3 4 は、ステップ S 3 1 として、航法装置 2 0、7 0 すなわち GPS で得られた位置座標から相対位置（ X_{GPS} 、 Y_{GPS} ）を算出（生成）している。

[0036] 次に、誘導演算部 3 4 は、ステップ S 3 2 として、アプローチモードボタンがオンされているか否かを判定する。アプローチモードボタンは、船舶 5 の操作表示部 9 0 に設けられた制御モードの移行指示を入力するためのボタンであり、船舶 5 に乗員するオペレータによってオンオフされる。オペレータは、垂直離着陸機 1 の船舶 5 への着船の準備が整ったら、アプローチモー

ドボタンをオンする。制御部30は、アプローチモードボタンがオンとなっていないと判定した場合（ステップS2でNo）、ステップS1の処理を継続する。一方、制御部30は、アプローチモードボタンがオンとなっていると判定した場合（ステップS2でYes）、ステップS33の処理に進む。

[0037] 誘導演算部34は、ステップS33として、ステップS31で生成した相対位置（ X_{GPS} 、 Y_{GPS} ）がゼロとなるように、フィードバック制御を実行する。これにより、誘導演算部34は、水平方向において垂直離着陸機1を着陸目標点2に向けて飛行させる。また、誘導演算部34は、算出された垂直離着陸機1の機首方位と船舶5の船首方位との相対方位が、一例として、ゼロとなるように、フィードバック制御を実行する。これにより、誘導演算部34は、水平方向において垂直離着陸機1の機首方位が船舶5の船首方位と一致するように飛行させる。なお、一例として、誘導演算部34は、相対方位がゼロとなるようにフィードバック制御を実行したが、特に限定されず、相対方位がゼロでなくてもよい。さらに、誘導演算部34は、高度センサ25により計測された相対高度 Δh が第1相対高度 Δh_1 となるように、フィードバック制御を実行する。これにより、誘導演算部34は、鉛直方向において、垂直離着陸機1を初期高度から第1相対高度 Δh_1 （図2参照）まで降下させつつ、第1相対高度 Δh_1 に維持させる。第1相対高度 Δh_1 は、例えば、8mである。このように、アプローチモードでは、相対位置（ X_{GPS} 、 Y_{GPS} ）がゼロとなるように制御することで、垂直離着陸機1が着陸目標点2の所定の圏内となるように、垂直離着陸機1を飛行制御している。

[0038] 誘導演算部34は、ステップS34として、画像相対位置演算処理を実行し、垂直離着陸機1と着陸目標点2との水平方向の距離としての相対位置（ X 、 Y ）を算出する。画像相対位置演算処理の詳細については、後述する。

[0039] 誘導演算部34は、ステップS35として、ステップS34で算出された垂直離着陸機1と着陸目標点2との水平方向の距離としての相対位置（ X 、 Y ）が第1しきい値以内であるか否かを判定する。第1しきい値は、カメラ10により、着陸目標点2を捉え続けるのに十分な距離となる値として設定

される。誘導演算部34は、相対位置(X、Y)が第1しきい値以内でない
と判定した場合(ステップS35でNo)、ステップS31以降の処理を再
び実行する。つまり、垂直離着陸機1は、カメラ10により、着陸目標点2
を捉えられない、換言すれば、着陸目標点2に十分近づいていないとして、
ステップS33以降の処理を再び実行する。そして、誘導演算部34は、垂
直離着陸機1が、カメラ10により、着陸目標点2を捉え続けるのに十分な
距離となるまで、ステップS33以降の処理が繰り返し実行される。誘導演
算部34は、相対位置(X、Y)が第1しきい値以内であると判定した場合
(ステップS35でYes)、垂直離着陸機1が、カメラ10により、着陸
目標点2を捉え続けるのに十分な距離である、つまり、着陸目標点2に十分
近づいているとして、アプローチモードを終了し、次の制御モードへと移行
する。

[0040] (高高度ホバリングモード)

図4の説明に戻る。誘導演算部34は、アプローチモードを終了すると、
ステップS2として、高高度ホバリングモードを実行する。高高度ホバリン
グモードについて、図7を参照しながら詳細に説明する。高高度ホバリン
グモードにおいて、誘導演算部34は、図6のステップS41に示すように、
画像相対位置演算処理で算出された相対位置(X、Y)がゼロとなるように
、フィードバック制御を実行する。また、誘導演算部34は、算出された垂
直離着陸機1の機首方位と船舶5の船首方位との相対方位が、一例として、
ゼロとなるように、フィードバック制御を実行する。さらに、誘導演算部3
4は、高度センサ25により計測された相対高度 Δh が第1相対高度 Δh_1
となるように、フィードバック制御を実行する。これにより、誘導演算部3
4は、鉛直方向において、垂直離着陸機1を着陸目標点2直上においてホバ
リングさせながら、第1相対高度 Δh_1 に維持させる。そして、誘導演算部
34は、ステップS42として、再び画像相対位置演算処理を実行する。

[0041] 誘導演算部34は、ステップS43として、ステップS42で算出された
相対位置(X、Y)が第2しきい値以内であるか否か、および、低高度ホバ

リングモードボタンがオンされているか否かを判定する。第2しきい値は、アプローチモードにおける第1しきい値以下となる値として設定される。また、低高度ホバリングモードボタンは、船舶5の操作表示部90に設けられた制御モードの移行指示を入力するためのボタンであり、船舶5に乗員するオペレータによってオンオフされる。オペレータは、垂直離着陸機1が第1相対高度 Δh_1 において安定して飛行できているか否かを目視で確認し、垂直離着陸機1が安定して飛行できている場合に、低高度ホバリングボタンをオンする。ステップS43は、高高度ホバリングモードから低高度ホバリングモードへと移行するための第1の条件が成立しているか否かを判定している。すなわち、第一実施形態において、第1の条件は、相対位置(X、Y)が第2しきい値以内となる他、オペレータにより低高度ホバリングモードへのモード移行の指示がなされたことを含む。

[0042] 誘導演算部34は、相対位置(X、Y)が第2しきい値以内でないと判定した場合(ステップS43でNo)、ステップS41以降の処理を再び実行する。また、誘導演算部34は、低高度ホバリングモードボタンがオンされていないと判定した場合(ステップS43でNo)にも、ステップS41以降の処理を再び実行する。そして、誘導演算部34は、垂直離着陸機1が、着陸目標点2に対する相対位置(X、Y)が第2しきい値以内となるまで、ステップS41以降の処理が繰り返し実行される。誘導演算部34は、相対位置(X、Y)が第2しきい値以内であり、かつ、低高度ホバリングモードボタンがオンされていると判定した場合(ステップS43でYes)、高高度ホバリングモードを終了し、次の制御モードへと移行する。

[0043] (低高度ホバリングモード)

図4の説明に戻る。誘導演算部34は、高高度ホバリングモードを終了すると、ステップS3として、低高度ホバリングモードを実行する。低高度ホバリングモードについて、図8を参照しながら詳細に説明する。低高度ホバリングモードにおいて、誘導演算部34は、図8のステップS51に示すように、画像相対位置演算処理で算出された相対位置(X、Y)がゼロとなる

ように、フィードバック制御を実行する。また、誘導演算部34は、算出された垂直離着陸機1の機首方位と船舶5の船首方位との相対方位が、一例として、ゼロとなるように、フィードバック制御を実行する。さらに、誘導演算部34は、高度センサ25により計測された相対高度 Δh が第1相対高度 Δh_1 よりも低い第2相対高度 Δh_2 となるようにフィードバック制御する。これにより、誘導演算部34は、垂直離着陸機1を着陸目標点2直上においてホバリングさせながら、垂直離着陸機1の高度を第2相対高度 Δh_2 （図2参照）まで降下させる。第2相対高度 Δh_2 は、例えば、3 mである。このとき、誘導演算部34は、垂直離着陸機1の降下速度を第1降下速度とする。第1降下速度は、例えば、0.6 m/sである。そして、誘導演算部34は、ステップS52として、再び画像相対位置演算処理を実行する。

[0044] 誘導演算部34は、ステップS53として、ステップS52で算出された相対位置（X、Y）が第3しきい値（所定しきい値）以内であるか否か、および、着陸モードボタンがオンされているか否かを判定する。第3しきい値は、高高度ホバリングにおける第2しきい値以下となる値として設定される。また、着陸モードボタンは、船舶5の操作表示部90に設けられた制御モードの移行指示を入力するためのボタンであり、船舶5に乗員するオペレータによってオンオフされる。オペレータは、垂直離着陸機1が第2相対高度 Δh_2 において安定して飛行できているか否かを目視で確認し、垂直離着陸機1が安定して飛行できている場合に、着陸モードボタンをオンする。ステップS53は、低高度ホバリングモードから着陸モードへと移行するための第2の条件（所定条件）が成立しているか否かを判定している。すなわち、第一実施形態において、第2の条件は、相対位置（X、Y）が第3しきい値以内となる他、オペレータにより着陸モードへのモード移行の指示がなされたことを含む。なお、オペレータは、垂直離着陸機1が安定していない場合であっても、着陸モードボタンをオンにしてもよい。

[0045] 誘導演算部34は、相対位置（X、Y）が第3しきい値以内でないと判定した場合（ステップS53でNo）、ステップS51以降の処理を再び実行

する。また、誘導演算部34は、着陸モードボタンがオンされていないと判定した場合（ステップS53でNo）にも、ステップS51以降の処理を再び実行する。そして、誘導演算部34は、垂直離着陸機1が、着陸目標点2に対する相対位置（X、Y）が第3しきい値以内となる位置にあり、かつ、第2相対高度 Δh_2 まで降下するように、ステップS51以降の処理が繰り返し実行される。誘導演算部34は、相対位置（X、Y）が第3しきい値以内であり、かつ、着陸モードボタンがオンされていると判定した場合（ステップS53でYes）、低高度ホバリングモードを終了し、次の制御モードへと移行する。

[0046]（着陸モード）

図4の説明に戻る。誘導演算部34は、低高度ホバリングモードを終了すると、ステップS4として、着陸モードを実行する。着陸モードについて、図9を参照しながら詳細に説明する。着陸モードにおいて、誘導演算部34は、図8のステップS61に示すように、画像相対位置演算処理で算出された相対位置（X、Y）がゼロとなるように、フィードバック制御を実行する。また、誘導演算部34は、算出された垂直離着陸機1の機首方位と船舶5の船首方位との相対方位が、一例として、ゼロとなるように、フィードバック制御を実行する。さらに、誘導演算部34は、高度センサ25により計測された相対高度 Δh が第3相対高度 Δh_3 となるまでの間、降下率を一定とする垂直速度制御を実行している。降下率は、単位時間当たりに降下する高度の割合である。誘導演算部34は、垂直速度制御において、垂直離着陸機1の降下速度を第2降下速度としている。これにより、誘導演算部34は、垂直離着陸機1の相対高度 Δh を第3相対高度 Δh_3 （図2参照）まで降下させる。第3相対高度 Δh_3 は、例えば10cmである。また、第2降下速度は、例えば、1.0m/sである。なお、本実施形態では、着陸モードにおいて垂直離着陸機1を速やかに着陸目標点2に着陸させるために、第2降下速度を上記第1降下速度よりも大きく設定したが、第1降下速度および第2降下速度は、いずれが大きく設定されてもよいし、同じ値であってもよい。

い。さらに、誘導演算部34は、垂直離着陸機1の高度が第3相対高度 Δh_3 に到達すると、第3相対高度 Δh_3 に到達したときの、垂直離着陸機1の姿勢角に関する制御量を保持したまま、垂直離着陸機1をさらに降下させる。

[0047] 誘導演算部34は、ステップS62として、カメラ10で着陸目標点2を捕捉できているか否かを判定する。カメラ10で着陸目標点2を捕捉できているか否かは、後述する画像相対位置演算処理のステップS12と同様の処理により算出することができる。誘導演算部34は、カメラ10で着陸目標点2を捕捉できている判定した場合（ステップS62でYes）、ステップS63として、画像処理により相対位置（X、Y）を算出する。相対位置（X、Y）は、後述する画像相対位置演算処理のステップS14と同様の処理により算出することができる。一方、誘導演算部34は、カメラ10で着陸目標点2を捕捉できていないと判定した場合（ステップS62でNo）、ステップS63の処理を省略し、ステップS64に進む。本実施形態において、着陸モードにおいては、垂直離着陸機1が着陸目標点2に十分に接近した状態であり、カメラ10で着陸目標点2を一時的に捕捉できないことがあったとしても、着陸目標点2の近傍に着陸できるとして、着陸モードを継続して実行する。なお、垂直離着陸機1が有人機の場合は、着陸モードの実行中において、パイロットの判断に基づいて着陸モードの実行を中断してもよい。

[0048] 飛行制御部36は、ステップS64として、垂直離着陸機1が着陸目標点2に着陸したか否かを判定する。垂直離着陸機1が着陸目標点2に着陸したか否かは、例えば垂直離着陸機1の図示しない脚部に接触式のセンサを設けておくこと等により、判定することができる。飛行制御部36は、垂直離着陸機1が着陸目標点2に着陸していないと判定した場合（ステップS64でNo）、再びステップS61以降の処理を実行する。これにより、垂直離着陸機1が着陸目標点2に着陸するまで、ステップS61の手順により垂直離着陸機1が降下するように制御される。そして、飛行制御部36は、垂直離

着陸機 1 が着陸目標点 2 に着陸したと判定した場合（ステップ S 6 4 で Yes）、誘導演算部 3 4 は、着陸モードを終了する。これにより、図 4 に示す処理ルーチンも終了する。

[0049] （画像相対位置演算処理）

次に、画像相対位置演算処理について、図 1 0 を参照しながら説明する。画像相対位置演算処理において、誘導演算部 3 4 は、ステップ S 1 1 として、非常モードボタンがオフされているか否かを判定する。非常モードボタンは、船舶 5 の操作表示部 9 0 に設けられており、船舶 5 に乗員するオペレータによってオンオフされる。オペレータは、船舶 5 へ垂直離着陸機 1 が着陸することを中断すべきであると判断したとき、非常モードボタンをオンする。具体的には、オペレータは、例えば風の影響や何らかの故障の発生等によって垂直離着陸機 1 の飛行状態が不安定であることを目視により確認した場合に、非常モードボタンをオンする。

[0050] 誘導演算部 3 4 は、ステップ S 1 1 において、非常モードボタンがオンされていると判定した場合（ステップ S 1 1 で No）、ステップ S 1 7 として、非常モードの実行へと移行する。非常モードにおいて、誘導演算部 3 4 は、垂直離着陸機 1 をいったん船舶 5 から十分に離れた所定高度（例えば 2 0 m）まで上昇させ、現在の相対位置（X、Y）を維持させる。誘導演算部 3 4 は、非常モードへと移行する場合、図 4 に示す高高度ホバリングモードを実行するステップ S 2、及び低高度ホバリングモードを実行するステップ S 3 の実行中において、非常モードを実行可能となっている。誘導演算部 3 4 は、非常モードの実行により、垂直離着陸機 1 をいったん船舶 5 から十分に離れた高度まで上昇させると、再び図 4 に示す処理をステップ S 1 から改めて再開する。

[0051] 一方、誘導演算部 3 4 は、非常モードボタンがオフされていると判定した場合（ステップ S 1 1 で Yes）、ステップ S 1 2 として、カメラ 1 0 で着陸目標点 2 を捕捉できているか否かを判定する。カメラ 1 0 で着陸目標点 2 を捕捉できているか否かは、カメラ 1 0 で撮影された画像内に、マーカー 7

の中心 (C_x 、 C_y) を算出可能な情報が得られているか否かで判定することができる。

[0052] 誘導演算部 34 は、カメラ 10 で着陸目標点 2 を捕捉できていると判定した場合 (ステップ S 12 で Yes)、ステップ S 13 として、目標非捕捉カウンタを値 0 に設定する。そして、誘導演算部 34 は、ステップ S 14 として、マーカー 7 の中心 (C_x 、 C_y) と、カメラ 10 の方位 (すなわち、同じ方位となる垂直離着陸機 1 の機首方位) と、垂直離着陸機 1 の高度 (着陸目標点 2 に対する相対高度 Δh) とに基づいて、垂直離着陸機 1 と着陸目標点 2 との相対位置 (X 、 Y) を算出する。上述したように、相対位置 (X 、 Y) は、画像処理部 32 で算出されたカメラ固定座標系におけるマーカー 7 の中心 (C_x 、 C_y) を、船慣性系における垂直離着陸機 1 と着陸目標点 2 との相対位置に変換し、さらに、航空機慣性系における垂直離着陸機 1 と着陸目標点 2 との相対位置 (X 、 Y) に変換することで算出される。

[0053] 一方、誘導演算部 34 は、ステップ S 12 において、カメラ 10 で着陸目標点 2 を捕捉できていないと判定した場合 (ステップ S 12 で No)、ステップ S 15 として、目標非捕捉カウンタに値 1 を加算し、ステップ S 16 として、目標非捕捉カウンタが所定値以内であるか否かを判定する。誘導演算部 34 は、目標非捕捉カウンタが所定値以内であると判定した場合 (ステップ S 16 で Yes)、再びステップ S 11 以降の処理を実行する。誘導演算部 34 は、目標非捕捉カウンタが所定値以内でないと判定した場合 (ステップ S 16 で No)、ステップ S 17 に進み、非常モードの実行へと移行する。すなわち、誘導演算部 34 は、目標非捕捉カウンタが所定値を超えることで、カメラ 10 で着陸目標点 2 を連続して捕捉できない時間が所定時間以上となったと判断し、非常モードを実行する。

[0054] (第一実施形態の作用効果)

以上説明したように、第一実施形態にかかる垂直離着陸機の自動着陸システム 100 は、垂直離着陸機 1 搭載されたカメラ 10 (撮影装置) と、カメラ 10 で着陸目標点 2 に設けられたマーカー 7 を撮影した画像に画像処理を

施し、垂直離着陸機 1 と着陸目標点 2 との相対位置 (X、Y) を取得する画像処理部 3 2 および誘導演算部 3 4 (相対位置取得部) と、垂直離着陸機 1 と着陸目標点 2 との相対速度を取得する誘導演算部 3 4 (相対速度取得部) と、垂直離着陸機 1 と着陸目標点 2 との相対高度 Δh を取得する高度センサ 2 5 および誘導演算部 3 4 (相対高度取得部) と、相対位置 (X、Y) がゼロになるように、垂直離着陸機 1 を複数の制御モードで制御する制御部 3 0 と、を備え、制御モードは、ホバリングモードと、着陸モードとを含み、ホバリングモードは、相対位置 (X、Y) が第 1 しきい値以内であるとき、垂直離着陸機 1 の相対高度 Δh を第 2 相対高度 Δh_2 (所定相対高度) まで降下させ、相対位置 (X、Y) が第 3 しきい値 (所定しきい値) 以内であることを含む第 2 の条件 (所定条件) が成立すると着陸モードに移行し、着陸モードは、垂直離着陸機 1 の相対高度 Δh をさらに降下させ、相対高度 Δh が第 3 相対高度 Δh_3 (予め定められた値) 以下になると、垂直離着陸機 1 の姿勢角に関する制御量のコマンドを保持したまま、垂直離着陸機 1 を降下させて着陸目標点 2 に着陸させる。

[0055] この構成により、カメラ 1 0 により着陸目標点 2 を捕捉でき、相対位置 (X、Y) が第 1 しきい値以内であるとき、垂直離着陸機 1 をホバリングモード、着陸モードの順番で制御して、着陸目標点 2 へと着陸させることができる。ホバリングモードでは、垂直離着陸機 1 を第 2 相対高度 Δh_2 まで降下させ、相対位置 (X、Y) が第 3 しきい値 (所定しきい値) 以内となることを着陸モードへ移行する条件とする。そのため、垂直離着陸機 1 を着陸目標点 2 により近づけた上で、着陸モードへと移行することができる。また、着陸モードでは、相対高度 Δh が第 3 相対高度 Δh_3 に到達すると、第 3 相対高度 Δh_3 に到達したときの、垂直離着陸機 1 の姿勢角に関する制御量を保持したまま、垂直離着陸機 1 を降下させて着陸目標点 2 に着陸させる。そのため、垂直離着陸機 1 が着陸目標点 2 の直前に位置するときには、垂直離着陸機 1 の姿勢角を制御することで垂直離着陸機 1 の挙動が不安定となることを抑制しながら、垂直離着陸機 1 を着陸目標点 2 へと着陸させることができ

る。なお、自動着陸システム100は、相対位置がゼロとなるように制御を行うが、実際には、垂直離着陸機1の船舶5への着陸後において、相対位置が誤差も含めてゼロになるとは限らず、垂直離着陸機1と着陸目標点2との位置が完全に一致するものではない。

[0056] また、第一実施形態では、少なくともカメラ10により着陸目標点2を捕捉できていれば、カメラ10で撮影したマーカー7に基づいて相対位置(X、Y)を算出することができる。つまり、相対位置(X、Y)を算出に際して、船舶5側とのデータ通信を行う必要がない。それにより、相対位置(X、Y)に基づいて垂直離着陸機1を制御するとき、航法装置20、70による誤差等の影響を受けないため、位置精度の向上を図ることができ、また、通信を行うことによる飛行制御の応答性の低下を抑制することができる。

[0057] したがって、第一実施形態によれば、垂直離着陸機1を着陸目標点2へと、より精度良く着陸させることができる。そして、垂直離着陸機1の位置を着陸目標点2に対して精度良く制御することで、着陸目標点2の近傍に設けられた装置や構造物に垂直離着陸機1が干渉することを抑制することができる。

[0058] また、ホバリングモードは、高高度ホバリングモードと、低高度ホバリングモードとを含み、高高度ホバリングモードは、相対位置(X、Y)が第1しきい値以内であるとき、垂直離着陸機1の相対高度 Δh を第2相対高度 Δh_2 (所定相対高度)よりも高い第1相対高度 Δh_1 で維持させ、相対位置(X、Y)が第2しきい値以内となることを含む第1の条件が成立すると、低高度ホバリングモードに移行し、低高度ホバリングモードは、垂直離着陸機1の相対高度 Δh を第2相対高度 Δh_2 (所定相対高度)まで降下させ、相対位置(X、Y)が第3しきい値以内となることを含む所定条件としての第2の条件が成立すると、着陸モードに移行する。なお、上記したように、第2しきい値は、第1しきい値を含んでいてもよく、第1しきい値以下の値であればよい。同様に、第3しきい値は、第2しきい値を含んでいてもよく、第2しきい値以下の値であればよい。

[0059] この構成により、高高度ホバリングモードおよび低高度ホバリングモードを経て、着陸モードへと移行させることができる。高高度ホバリングモードにおいて、垂直離着陸機 1 の相対高度 Δh を第 2 相対高度 Δh_2 （所定相対高度）よりも高い第 1 相対高度 Δh_1 で維持させ、相対位置（X、Y）が第 2 しきい値以内となることで、低高度ホバリングモードへ移行する。そのため、垂直離着陸機 1 をいったん第 1 相対高度 Δh_1 で維持させながら、垂直離着陸機 1 を着陸目標点 2 直上にホバリングさせた状態で、低高度ホバリングモードに移行させることができる。その後、低高度ホバリングモードにおいて、垂直離着陸機 1 を第 2 相対高度 Δh_2 まで降下させ、相対位置（X、Y）が第 3 しきい値（所定しきい値）以内となると、着陸モードへと移行する。そのため、垂直離着陸機 1 を着陸目標点 2 直上にホバリングさせた状態で、着陸モードへと移行させることができる。このように、垂直離着陸機 1 を着陸目標点 2 直上にホバリングさせた状態で、垂直離着陸機 1 の相対高度 Δh がゼロとなるように段階的に変化させることで、垂直離着陸機 1 を安定的に着陸させることができる。

[0060] また、第 1 の条件および第 2 の条件は、オペレータによりモード移行の指示がなされたことを含む。すなわち、第 1 の条件は、オペレータが低高度ホバリングモードボタンをオンすることを含む。また、第 2 の条件は、オペレータが着陸モードボタンをオンすることを含む。この構成により、オペレータが垂直離着陸機 1 の飛行が安定しているかを目視で確認した上で、高高度ホバリングモードから低高度ホバリングモードへの移行、低高度ホバリングモードから着陸モードへの移行を実行させることができる。

[0061] また、自動着陸システム 100 は、垂直離着陸機 1 の位置座標を取得する航法装置 20 と、垂直離着陸機 1 と、着陸目標点 2 が設けられた船舶 5（設備）との間でデータをやり取りするデータ伝送装置 40 と、航法装置 20 により取得された垂直離着陸機 1 の位置座標と、データ伝送装置 40 により取得した着陸目標点 2 が設けられた船舶 5 の位置座標とに基づいて、垂直離着陸機 1 と着陸目標点 2 との相対位置（ X_{GPS} 、 Y_{GPS} ）を算出する誘導演算部

34（第2の相対位置取得部）を備え、制御モードは、アプローチモードを含み、アプローチモードは、誘導演算部34で取得された相対位置（ X_{GPS} 、 Y_{GPS} ）がゼロとなるように、かつ、垂直離着陸機1の相対高度 Δh を第2相対高度 Δh_2 （所定相対高度）よりも高い第1相対高度 Δh_1 まで降下させて維持させ、画像処理部32および誘導演算部34（相対位置取得部）で取得された相対位置（ X 、 Y ）が第1しきい値以内となると高高度ホバリングモードに移行する。

[0062] この構成により、カメラ10で着陸目標点2を捕捉できない程度に、垂直離着陸機1と着陸目標点2とが離れているとき、GPSを用いて取得された位置座標に基づく相対位置（ X_{GPS} 、 Y_{GPS} ）を用いて、垂直離着陸機1を着陸目標点2に向けて誘導させることができる。そして、カメラ10で着陸目標点2を捕捉できるようになると、画像処理により算出された相対位置（ X 、 Y ）が第1しきい値以内となることを条件に、高高度ホバリングモードに移行させることができる。

[0063] また、制御部30（誘導演算部34）は、各制御モードの実行中に、カメラ10によりマーカー7を連続して捕捉できない時間が所定時間以上となると、垂直離着陸機1の高度を所定高度まで上昇させる非常モードに移行する。この構成により、カメラ10でマーカー7を捕捉できない時間が長時間継続し、画像処理による相対位置（ X 、 Y ）に基づく垂直離着陸機1の制御が不可能と判断される場合に、非常モードによって、垂直離着陸機1をいったん船舶5から離すことができる。

[0064] なお、第一実施形態では、アプローチモードボタン、高高度ホバリングモードボタン、低高度ホバリングモードボタン、着陸モードボタン、及び非常モードボタンは、船舶5の操作表示部90に設けられ、船舶5のオペレータが操作したが、垂直離着陸機1が有人機である場合、各種モードボタンを垂直離着陸機1に設け、パイロットが操作してもよい。

[0065] また、第一実施形態では、垂直離着陸機1の着陸目標点2への飛行をアプローチモードにより実行したが、図4に示すステップS1を省いて、マニユ

アル操作により垂直離着陸機 1 を着陸目標点 2 へ向けて飛行させてもよい。

[0066] [第二実施形態]

次に、第二実施形態にかかる垂直離着陸機の自動着陸システム 200 および着陸制御方法について説明する。図 10 は、第二実施形態にかかる垂直離着陸機の自動着陸システムの一例を示す概略構成図である。第二実施形態にかかる自動着陸システム 200 は、図 10 に示すように、自動着陸システム 100 からデータ伝送装置 40 を省略した構成である。また、自動着陸システム 200 は、誘導演算部 34 に代えて、誘導演算部 34 A を備える。自動着陸システム 200 の他の構成は、自動着陸システム 100 と同様であるため、説明を省略し、同じ構成要素には同じ符号を付す。また、誘導演算部 34 A は、以下に説明する部分を除き、誘導演算部 34 と同様の機能を有するため、同様の機能については説明を省略する。

[0067] また、第二実施形態において、船舶 5 は、データ伝送装置 80 および操作表示部 90 を備える必要がない。なお、図 10 においては、航法装置 70 を省略しているが、これは、垂直離着陸機 1 と船舶 5 との間で航法装置 70 により取得されるデータのやり取りを必要としないためである。

[0068] 第二実施形態において、自動着陸システム 200 は、船舶 5 側とのデータ通信を行わない。そのため、相対速度の算出に際して、船舶 5 から船体速度を取得することができない。そこで、第二実施形態において、誘導演算部 34 は、垂直離着陸機 1 と着陸目標点 2 との相対位置 (X、Y) に基づいて相対速度を算出する。具体的には、誘導演算部 34 A は、相対位置 (X、Y) を擬似微分して相対速度を算出する。

[0069] 次に、第二実施形態における着陸制御方法の詳細について説明する。第二実施形態において、誘導演算部 34 A は、図 4 に示すフローチャートのステップ S1 の処理を実行せず、他の手法により、カメラ 10 の撮影範囲 B にマーカー 7 が捕捉される程度まで、垂直離着陸機 1 を船舶 5 すなわち着陸目標点 2 に接近させる。他の手法としては、例えば、垂直離着陸機 1 にレーザー照射装置を搭載し、船舶 5 に向けてレーザーを照射して、反射波を垂直離着

陸機 1 側で受信することにより、垂直離着陸機 1 と船舶 5 との相対位置を取得して、相対位置に基づいて垂直離着陸機 1 を船舶 5（着陸目標点 2）へと誘導させる等の手法が挙げられる。

[0070] 誘導演算部 34 A は、カメラ 10 の撮影範囲 B にマーカー 7 が捕捉される程度まで、垂直離着陸機 1 が船舶 5 すなわち着陸目標点 2 に十分に接近すると、図 10 に示す画像相対位置演算処理のステップ S 14 と同様の処理により相対位置（X、Y）を算出し、算出した相対位置（X、Y）が第 1 しきい値以内となると、図 4 のステップ S 2（図 7）およびステップ S 3（図 8）の処理に替えて、図 12 および図 13 に示す処理を実行する。図 12 は、第二実施形態における高高度ホバリングモードの処理手順の一例を示すフローチャートである。図 13 は、第二実施形態における低高度ホバリングモードの処理手順の一例を示すフローチャートである。

[0071] 図 12 を参照しながら、第二実施形態における高高度ホバリングモードについて説明する。図 11 のステップ S 41 A およびステップ S 42 A は、図 7 のステップ S 41 およびステップ S 42 と同様の処理であるため、説明を省略する。なお、第二実施形態において、画像相対位置演算処理は、図 10 に示す処理と同様である。

[0072] 誘導演算部 34 A は、ステップ S 43 A として、ステップ S 42 A で算出された相対位置（X、Y）、垂直離着陸機 1 の姿勢角（ピッチ方向およびロール方向）の変化レートおよび相対速度が、対応する第 1 判定しきい値以内であるか否かを判定する。相対位置（X、Y）の対応する第 1 判定しきい値は、第一実施形態における第 2 しきい値である。また、姿勢角の変化レートおよび相対速度の対応する第 1 判定しきい値は、パラメータごとに個別に設定される。姿勢角の変化レートおよび相対速度に対応する第 1 判定しきい値は、第一実施形態においてオペレータが低高度ホバリングモードボタンをオンすることに代えて設けられるものである。したがって、姿勢角の変化レートおよび相対速度に対応する第 1 判定しきい値は、垂直離着陸機 1 が第 1 相対高度 Δh_1 において安定して飛行できているといえる状態であることを満

たすように設定される。

[0073] 誘導演算部34Aは、相対位置(X、Y)が対応する第1判定しきい値すなわち第2しきい値以内でないと判定した場合(ステップS43AでNo)、ステップS41A以降の処理を再び実行する。また、誘導演算部34Aは、姿勢角の変化レートおよび相対速度が対応する第1判定しきい値以内でないと判定した場合(ステップS43AでNo)にも、ステップS41A以降の処理を再び実行する。

[0074] 一方、誘導演算部34Aは、相対位置(X、Y)が第2しきい値以内であり、かつ、姿勢角の変化レートおよび相対速度が対応する第1判定しきい値以内であると判定した場合(ステップS43AでYes)、高高度ホバリングモードを終了し、低高度ホバリングモードへと移行する。ステップS43Aは、高高度ホバリングモードから低高度ホバリングモードへと移行するための第1の条件が成立しているか否かを判定している。すなわち、第二実施形態において、第1の条件は、相対位置(X、Y)が第2しきい値以内となる他、姿勢角の変化レートおよび相対速度が対応する第1判定しきい値以内であることを含む。

[0075] 図13を参照しながら、第二実施形態における低高度ホバリングモードについて説明する。図13のステップS51AおよびステップS52Aは、第一実施形態における図8のステップS51およびステップS52と同様の処理であるため、説明を省略する。

[0076] 誘導演算部34Aは、ステップS53Aとして、ステップS52Aで算出された相対位置(X、Y)、垂直離着陸機1の姿勢角(ピッチ方向およびロール方向)の変化レート、相対方位、相対速度、姿勢角(ロール方向、ピッチ方向)、着陸目標点2の水平方向の角度(ロール方向、ピッチ方向)および相対高度 Δh が、対応する第2判定しきい値以内であるか否かを判定する。相対位置(X、Y)の対応する第2判定しきい値とは、第一実施形態における第3しきい値である。また、相対高度 Δh の第2判定しきい値とは、第2相対高度 Δh_2 である。相対高度 Δh の第2判定しきい値は、低高度ホバ

リングモードにおいて、垂直離着陸機 1 が第 2 相対高度 Δh_2 まで降下し安定したことを自動的に判定するために設けられる。

[0077] また、垂直離着陸機 1 の姿勢角の変化レート、相対方位、相対速度、姿勢角、着陸目標点 2 の水平方向の角度の対応する第 2 判定しきい値は、パラメータごとに個別に設定される。なお、着陸目標点 2 の水平方向の角度は、船舶 5 の着陸目標点 2 が設けられた面の水平方向における角度であり、画像処理部 32 において、カメラ 10 で撮影されたマーカー 7 の画像に画像処理を施すことで算出することができる。姿勢角の変化レート、相対方位、相対速度、姿勢角、着陸目標点 2 の水平方向の角度に対応した第 2 判定しきい値は、第一実施形態においてオペレータが着陸モードボタンをオンすることに代えて設けられるものである。したがって、姿勢角の変化レート、相対方位、相対速度、姿勢角、着陸目標点 2 の水平方向の角度に対応した第 2 判定しきい値は、垂直離着陸機 1 が第 2 相対高度 Δh_2 において安定して飛行できているといえる状態であることを満たすように設定される。なお、姿勢角の変化レート、相対速度の第 2 判定しきい値は、第 1 判定しきい値よりも小さな値であってもよいし、第 1 判定しきい値と同じ値であってもよい。

[0078] 誘導演算部 34A は、相対位置 (X、Y) が対応する第 2 判定しきい値すなわち第 3 しきい値以内でないと判定した場合 (ステップ S53A で No)、ステップ S51A 以降の処理を再び実行する。また、誘導演算部 34A は、相対高度 Δh が対応する第 1 判定しきい値すなわち第 2 相対高度 Δh_2 以内でないと判定した場合 (ステップ S53A で No)、ステップ S51A 以降の処理を再び実行する。さらに、誘導演算部 34A は、姿勢角の変化レート、相対方位、相対速度、姿勢角、着陸目標点 2 の水平方向の角度が対応する第 2 判定しきい値以内でないと判定した場合 (ステップ S53A で No) にも、ステップ S51A 以降の処理を再び実行する。

[0079] 一方、誘導演算部 34A は、相対位置 (X、Y) が第 2 判定しきい値すなわち第 3 しきい値以内であり、相対高度 Δh が第 2 相対高度 Δh_2 以内であり、かつ、姿勢角の変化レート、相対方位、相対速度、姿勢角、着陸目標点

2の水平方向の角度が対応する第2判定しきい値以内であると判定した場合（ステップS53AでYes）、低高度ホバリングモードを終了し、着陸モードへと移行する。ステップS53Aは、低高度ホバリングモードから着陸モードへと移行するための第2の条件（所定条件）が成立しているか否かを判定している。すなわち、第二実施形態において、第2の条件は、相対位置（X、Y）が第3しきい値以内となる他、姿勢角の変化レート、相対方位、相対速度、姿勢角、着陸目標点2の水平方向の角度および相対高度 Δh が対応する第2判定しきい値以内であることを含む。

[0080]（第二実施形態の作用効果）

以上説明したように、第二実施形態にかかる垂直離着陸機の自動着陸システム200は、カメラ10で撮影したマーカー7に基づいて相対位置（X、Y）を算出でき、また、相対位置（X、Y）に基づいて相対速度を算出することができる。したがって、相対位置（X、Y）および相対速度の算出に際して、船舶5側とのデータ通信を行う必要がない。それにより、相対位置（X、Y）および相対速度に基づいて垂直離着陸機1を制御するとき、データ通信を行う必要がないことから、システムを簡素化することができる。

[0081] また、第二実施形態において、第1の条件は、垂直離着陸機1の姿勢角の変化レートおよび相対速度が、対応する第1判定しきい値以内であることを含む。この構成により、オペレータからの移行指示を必要とせず、垂直離着陸機1を安定して飛行させながら、高高度ホバリングモードから低高度ホバリングモードへと自動的に移行させることができる。したがって、高高度ホバリングモードから低高度ホバリングモードへの移行に際して、船舶5との間でデータのやり取りを行う必要がない。

[0082] また、第2の条件は、垂直離着陸機1の姿勢角、姿勢角の変化レート、相対方位、相対速度、着陸目標点2の水平方向における角度および相対高度 Δh が、対応する第2判定しきい値以内であることを含む。この構成により、オペレータからの移行指示を必要とせず、垂直離着陸機1を安定して飛行させながら、低高度ホバリングモードから着陸モードへと自動的に移行させる

ことができる。したがって、低高度ホバリングモードから着陸モードへの移行に際して、船舶５との間でデータのやり取りを行う必要がない。

[0083] [第三実施形態]

次に、第三実施形態にかかる垂直離着陸機１の自動着陸システム３００および着陸制御方法について説明する。図１４は、第三実施形態にかかる自動着陸システムを示す概略構成図である。第三実施形態にかかる自動着陸システム３００は、図１４に示すように、第二実施形態にかかる自動着陸システム２００の画像処理部３２に代えて画像処理部３２Ｂ、誘導演算部３４Ａに代えて誘導演算部３４Ｂを備える。自動着陸システム３００の他の構成は、自動着陸システム２００と同様であるため、説明を省略し、同じ構成要素には同じ符号を付す。また、画像処理部３２Ｂ、誘導演算部３４Ｂは、以下に説明する部分を除き、画像処理部３２、誘導演算部３４と同様の機能を有するため、同様の機能については説明を省略する。

[0084] また、第三実施形態において、船舶５は、第二実施形態と同様に、データ伝送装置８０および操作表示部９０を備える必要がない。なお、図１４においては、航法装置７０を省略しているが、これは、垂直離着陸機１と船舶５との間で航法装置７０により取得されるデータのやり取りを必要としないためである。また、第三実施形態において、船舶５は、マーカー７に接続された操作表示部９５を備えている。そして、第三実施形態において、マーカー７は、例えば液晶ディスプレイといった図示しない表示装置に表示され、そのマーカー形状が可変とされている。マーカー７は、高高度ホバリングモードから低高度ホバリングモードへの移行を指示するための形状、低高度ホバリングモードから着陸モードへの移行を指示するための形状を少なくとも含んでいる。

[0085] 画像処理部３２Ｂは、カメラ１０で撮影された画像を画像処理することで、画像内のマーカー７の形状を特定し、特定した形状に基づいた指示を誘導演算部３４Ｂに出力する。具体的には、画像処理部３２Ｂは、マーカー７が高高度ホバリングモードから低高度ホバリングモードへの移行を指示するた

めの形状であると特定した場合、高高度ホバリングモードから低高度ホバリングモードへの移行指示を誘導演算部34Bに出力する。また、画像処理部32Bは、マーカー7が低高度ホバリングモードから着陸モードへの移行を指示するための形状であると特定した場合、低高度ホバリングモードから着陸モードへの移行指示を誘導演算部34Bに出力する。

[0086] 誘導演算部34Bは、第二実施形態の誘導演算部34Aと同様の手法で相対速度を算出する。それにより、第二実施形態と同様に、船舶5から船体速度を取得することなく、相対速度を取得することができる。

[0087] 次に、第三実施形態における着陸制御方法について説明する。第三実施形態において、誘導演算部34Bは、第二実施形態と同様に、図4に示すフローチャートのステップS1からステップS3の処理を実行せず、他の手法により、カメラ10の撮影範囲Bにマーカー7が捕捉される程度まで、垂直離着陸機1を船舶5すなわち着陸目標点2に接近させる。そして、誘導演算部34Bは、カメラ10の撮影範囲Bにマーカー7が捕捉される程度まで、垂直離着陸機1が船舶5すなわち着陸目標点2に十分に接近すると、図10に示す画像相対位置演算処理のステップS14と同様の処理により相対位置(X、Y)を算出し、算出した相対位置(X、Y)が第1しきい値以内となると、図4のステップS2(図7)およびステップS3(図8)の処理に替えて、図15および図16に示す処理を実行する。図15は、第三実施形態における高高度ホバリングモードの処理手順の一例を示すフローチャートである。図16は、第三実施形態における低高度ホバリングモードの処理手順の一例を示すフローチャートである。

[0088] 図15を参照しながら、第三実施形態における高高度ホバリングモードについて説明する。図15のステップS41BおよびステップS42Bは、図8のステップS41およびステップS42と同様の処理であるため、説明を省略する。なお、第三実施形態においても、画像相対位置演算処理は、図10に示す処理と同様である。

[0089] 誘導演算部34Bは、ステップS43Bとして、ステップS42Bで算出

された相対位置（X、Y）が第2しきい値以内であるか否か、および、マーカー7が低高度ホバリングモードへの移行を示す形状となっているか否かを判定する。マーカー7が低高度ホバリングモードへの移行を示す形状となっているか否かは、第一実施形態においてオペレータが低高度ホバリングモードボタンをオンすることに代えて設けられるものである。オペレータは、垂直離着陸機1が第1相対高度 Δh_1 において安定して飛行できているか否かを目視で確認し、垂直離着陸機1が安定して飛行できている場合に、操作表示部95により、マーカー7を低高度ホバリングモードへの移行を示す形状に変化させる。

[0090] 誘導演算部34Bは、相対位置（X、Y）が対応する第2しきい値以内でないと判定した場合（ステップS43BでNo）、ステップS41B以降の処理を再び実行する。また、誘導演算部34Bは、マーカー7が低高度ホバリングモードへの移行を示す形状となっていないと判定した場合（ステップS43BでNo）にも、ステップS41B以降の処理を再び実行する。これにより、垂直離着陸機1は、第一実施形態と同様に、着陸目標点2に対する相対位置（X、Y）が第2しきい値以内となる位置にあり、かつ、第1相対高度 Δh_1 が維持されるように、フィードバック制御によって飛行が制御される。

[0091] 誘導演算部34Bは、相対位置（X、Y）が第2しきい値以内であり、マーカー7が低高度ホバリングモードへの移行を示す形状となっていると判定した場合（ステップS43BでYes）、高高度ホバリングモードを終了し、低高度ホバリングモードへと移行する。第三実施形態において、ステップS43Bは、高高度ホバリングモードから低高度ホバリングモードへと移行するための第1の条件が成立しているか否かを判定している。すなわち、第三実施形態において、第1の条件は、相対位置（X、Y）が第2しきい値以内となる他、マーカー7が低高度ホバリングモードへの移行を示す形状となっていることを含む。

[0092] 図16を参照しながら、第三実施形態における低高度ホバリングモードに

ついて説明する。図16のステップS51BおよびステップS52Bは、第一実施形態における図8のステップS51およびステップS52と同様の処理であるため、説明を省略する。

[0093] 誘導演算部34Bは、ステップS53Bとして、ステップS52Bで算出された相対位置(X、Y)が第3しきい値以内であるか否か、および、マーカー7が着陸モードへの移行を示す形状となっているか否かを判定する。マーカー7が着陸モードへの移行を示す形状となっているか否かは、第一実施形態において、オペレータが着陸モードボタンをオンすることに代えて設けられるものである。オペレータは、垂直離着陸機1が第2相対高度 Δh_2 において安定して飛行できているか否かを目視で確認し、垂直離着陸機1が安定して飛行できている場合に、操作表示部95により、マーカー7を着陸モードへの移行を示す形状に変化させる。

[0094] 誘導演算部34Bは、相対位置(X、Y)が対応する第2しきい値以内でないと判定した場合(ステップS53BでNo)、ステップS51B以降の処理を再び実行する。また、誘導演算部34Bは、マーカー7が着陸モードへの移行を示す形状となっていないと判定した場合(ステップS53BでNo)にも、ステップS51B以降の処理を再び実行する。これにより、垂直離着陸機1は、第一実施形態と同様に、着陸目標点2に対する相対位置(X、Y)が第3しきい値以内となる位置にあり、かつ、第2相対高度 Δh_2 が維持されるように、フィードバック制御によって飛行が制御される。

[0095] 誘導演算部34Bは、相対位置(X、Y)が第3しきい値以内であり、マーカー7が着陸モードへの移行を示す形状となっていると判定した場合(ステップS53BでYes)、低高度ホバリングモードを終了し、着陸モードへと移行する。第三実施形態において、ステップS53Bは、低高度ホバリングモードから着陸モードへと移行するための第2の条件(所定条件)が成立しているか否かを判定している。すなわち、第三実施形態において、第2の条件は、相対位置(X、Y)が第3しきい値以内となる他、マーカー7が着陸モードへの移行を示す形状となっていることを含む。

[0096] (第三実施形態の作用効果)

以上説明したように、第三実施形態にかかる垂直離着陸機の自動着陸システム300においても、相対位置(X、Y)および相対速度の算出に際して、船舶5側とのデータ通信を行う必要がない。それにより、相対位置(X、Y)および相対速度に基づいて垂直離着陸機1を制御するとき、データ通信を行う必要がないことから、システムを簡素化することができる。

[0097] また、第三実施形態において、マーカー7は、マーカー形状が可変であり、第1の条件および第2の条件は、マーカー形状がモード移行を示す形状であることを含む。この構成により、オペレータからのモード移行の指示をデータ通信により受信することなく、マーカー形状の変化に基づいて、高高度ホバリングモードから低高度ホバリングモード、低高度ホバリングモードから着陸モードへの移行を実行することができる。したがって、高高度ホバリングモードから低高度ホバリングモード、低高度ホバリングモードから着陸モードへの移行に際して、船舶5との間でデータのやり取りを行う必要がなく、通信せずにモード移行を指示することができ、例えば、電波封鎖環境下においてもモード移行を指示することができる。

[0098] なお、第一実施形態から第三実施形態では、着陸モードにおいて、相対高度 Δh が第3相対高度 Δh_3 に到達すると、第3相対高度 Δh_3 に到達したときの、垂直離着陸機1の姿勢角に関する制御量を保持したままとした。しかしながら、姿勢角のみではなく、相対位置(X、Y)、相対方位、及び相対速度に関する制御量について、全てを保持した状態、全てを保持していない状態、または、一部を保持した状態で、垂直離着陸機1を着陸目標点2に着陸させるものとしてもよい。

符号の説明

- [0099]
- 1 垂直離着陸機
 - 2 着陸目標点
 - 5 船舶
 - 7 マーカー

- 1 0 カメラ
- 2 0、7 0 航法装置
- 2 5 高度センサ
- 3 0 制御部
- 3 2, 3 2 B 画像処理部
- 3 4, 3 4 A, 3 4 B 誘導演算部
- 3 6 飛行制御部
- 4 0, 8 0 データ伝送装置
- 9 0, 9 5 操作表示部
- 1 0 0, 2 0 0, 3 0 0 自動着陸システム