

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公開特許公報(A)

(11) 特許出願公開番号

特開2020-50110  
(P2020-50110A)

(43) 公開日 令和2年4月2日(2020.4.2)

(51) Int.Cl.	F I	テーマコード (参考)
<b>B64F 1/36 (2017.01)</b>	B 6 4 F 1/36	5 H 1 8 1
<b>B64C 13/16 (2006.01)</b>	B 6 4 C 13/16	A
<b>G08G 5/00 (2006.01)</b>	G 0 8 G 5/00	A

審査請求 未請求 請求項の数 8 O L (全 21 頁)

(21) 出願番号 特願2018-180910 (P2018-180910)  
(22) 出願日 平成30年9月26日 (2018.9.26)

(71) 出願人 504255685  
国立大学法人京都工芸繊維大学  
京都府京都市左京区松ヶ崎橋上町1番地  
(74) 代理人 100095407  
弁理士 木村 満  
(74) 代理人 100132883  
弁理士 森川 泰司  
(74) 代理人 100174388  
弁理士 龍竹 史朗  
(72) 発明者 山川 勝史  
京都府京都市左京区松ヶ崎橋上町1番地  
国立大学法人京都工芸繊維大学内  
Fターム(参考) 5H181 AA26 BB04 CC03 EE14 FF13  
FF32

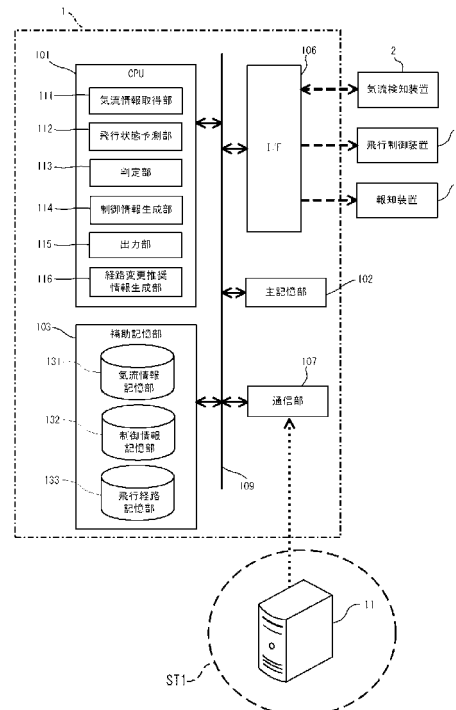
(54) 【発明の名称】 飛行制御支援装置および飛行制御支援方法

(57) 【要約】

【課題】 飛行体の飛行時における飛行体の飛行安定性および安全性を高めることができる飛行制御支援装置および飛行制御支援方法を提供する。

【解決手段】 飛行制御支援装置1は、飛行体の飛行経路に含まれる領域の気流の状態を示す気流情報を取得する気流情報取得部111と、気流情報から前述の領域における飛行体の飛行状態を予測する飛行状態予測部112と、予測される飛行体の前述の領域における飛行状態に基づいて、飛行体が前述の領域を飛行する際の飛行体の制御情報を生成する制御情報生成部114と、を備える。そして、前述の領域は、飛行体の飛行中において、飛行体の飛行速度と飛行状態予測部112が前述の領域における飛行体の飛行状態を予測するのに要する予測時間との積に相当する基準距離以上の距離だけ、飛行体の位置から離間した位置に存在する。

【選択図】 図2



## 【特許請求の範囲】

## 【請求項 1】

飛行体の飛行経路に含まれる少なくとも 1 つの領域の気流の状態を示す気流情報を取得する気流情報取得部と、

前記気流情報から前記少なくとも 1 つの領域における前記飛行体の飛行状態を予測する飛行状態予測部と、

前記飛行状態予測部により予測される前記飛行体の前記少なくとも 1 つの領域における飛行状態に基づいて、前記飛行体が前記少なくとも 1 つの領域を飛行する際の前記飛行体の制御情報を生成する制御情報生成部と、を備え、

前記少なくとも 1 つの領域は、前記飛行体の飛行中において、前記飛行体の飛行速度と前記飛行状態予測部が前記少なくとも 1 つの領域における前記飛行体の飛行状態を予測するのに要する予測時間との積に相当する基準距離以上の距離だけ、前記飛行体の位置から離間した位置に存在する、

飛行制御支援装置。

## 【請求項 2】

前記飛行状態予測部は、前記飛行体の飛行状態を非構造移動格子有限体積法を利用して予測する、

請求項 1 に記載の飛行制御支援装置。

## 【請求項 3】

前記飛行状態予測部は、前記少なくとも 1 つの領域それぞれに対応する前記気流情報に基づいて、前記非構造移動格子有限体積法における計算格子の数または計算格子の形状を決定する、

請求項 2 に記載の飛行制御支援装置。

## 【請求項 4】

前記計算格子は、テトラ型計算格子、プリズム型計算格子およびピラミッド型計算格子のうちの少なくとも 1 つである、

請求項 3 に記載の飛行制御支援装置。

## 【請求項 5】

前記気流情報取得部は、複数の領域それぞれの気流情報を取得し、

前記複数の領域それぞれにおける気流の大きさを算出する気流算出部と、

前記気流算出部により算出される前記複数の領域それぞれの気流の大きさに基づいて、前記複数の領域の中から、前記飛行状態予測部により前記飛行体の飛行状態を予測する対象となる予測対象領域を特定する予測対象領域特定部と、を更に備える、

請求項 1 から 4 のいずれか 1 項に記載の飛行制御支援装置。

## 【請求項 6】

前記飛行状態予測部により予測される前記飛行体の前記少なくとも 1 つの領域における飛行状態に基づいて、前記飛行体の飛行経路の変更を促す経路変更推奨情報を生成する経路変更推奨情報生成部を更に備える、

請求項 1 から 5 のいずれか 1 項に記載の飛行制御支援装置。

## 【請求項 7】

前記気流情報取得部は、複数の領域それぞれの気流情報を取得し、

前記複数の領域それぞれにおける気流の変化量を算出する気流変化量算出部を更に備え、

前記経路変更推奨情報生成部は、前記気流変化量算出部により算出される前記複数の領域それぞれの気流の変化量に基づいて、前記飛行体の飛行経路の変更を促す経路変更推奨情報を生成する、

請求項 6 に記載の飛行制御支援装置。

## 【請求項 8】

飛行体の飛行経路に含まれる少なくとも 1 つの領域の気流の状態を示す気流情報を取得するステップと、

10

20

30

40

50

前記気流情報から前記少なくとも1つの領域における前記飛行体の飛行状態を予測するステップと、

予測される前記飛行体の前記少なくとも1つの領域における飛行状態に基づいて、前記飛行体が前記少なくとも1つの領域を飛行する際の前記飛行体の制御情報を生成するステップと、を含み、

前記少なくとも1つの領域は、前記飛行体の飛行中において、前記飛行体の飛行速度と前記少なくとも1つの領域における前記飛行体の飛行状態を予測するのに要する予測時間との積に相当する基準距離以上の距離だけ、前記飛行体の位置から離間した位置に存在する、

飛行制御支援方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、飛行制御支援装置および飛行制御支援方法に関する。

【背景技術】

【0002】

最近の航空機の事故は、乱気流のような気流の変化に起因するものが多い。この種の航空機の事故を低減し、安全な航空機の運航を実現するために、気流の変化に起因した航空機の揺れのような航空機の航行への悪影響を抑制する制御技術が必要とされる。このような制御技術としては、例えば外乱である気流の変化に関する情報を事前に何らかの方法で取得し、その気流の変化に関する情報を有効に活用することで気流の変化に起因した航空機の揺れを抑制する技術がある。

【0003】

また、最近、空飛ぶ自動車が開発され、既に一部が実用化されている。この空飛ぶ自動車の中には、折り畳み式の翼を備えたもの、ドローンと同種の技術を採用したもの等が提供されている。この空飛ぶ自動車の場合、墜落のような事故が発生すると、その被害規模は、道路のみを走行する通常の自動車の事故の場合と比べて大きい。それ故、空飛ぶ車の安全性の確保は、通常の自動車以上に強く求められている。

【0004】

ところで、空飛ぶ自動車のような飛行体について望ましくない横向き運動を減少するように方向舵の修正を実行することにより飛行体の安全性を確保する制御方法およびシステムが提案されている（例えば特許文献1参照）。この制御方法では、乱気流および突風によって起こされる横からの荷重を低減することにより飛行機の望ましくない横向き運動を減少させる。具体的には、乱気流および突風によって起こされる飛行機の垂直安定板に生じる差圧を低減するように飛行機の方向舵偏向値を修正する。

【0005】

また、航空機の上流側（前方）に生じる乱気流を予測し、その予測に基づいて航空機を制御するシステムが提案されている（例えば特許文献2参照）。このシステムは、航空機の前方向へ光ビームを送信したときに散乱されて戻ってくる光ビームを受信し、航空機の前方向の乱気流を予測する。ここで、乱気流の発生を予測する航空機の前方向の領域は、システムにより航空機の制御を完了するまでの間に航空機が飛行する距離よりも長い距離だけ航空機の前方向に位置する領域に相当する。なお、乱気流を事前に検知する技術として、例えば、レーザ光を利用して、特に、数100mから10数km程度までの遠隔領域の風速をドップラー効果に基づき計測するドップラーライダーを用いた技術も提案されている（例えば、特許文献3参照）。

【0006】

更に、航空機の飛行中、航空機の外側の風の垂直構成要素により航空機の現在の位置を決定し、この風の垂直構成要素により、現在の位置における航空機の外側の垂直乱気流に関する激しさのレベルを決定し、前述の風の垂直構成要素により、垂直乱気流により航空機に生じる負荷因子の大きさを減少させるための航空機の揚力に作用できる可動部材に対

10

20

30

40

50

する制御指令を生成し、前述の激しさのレベルに依存する作動状態が実現しているかどうかを判定し、前述の作動状態が実現していれば、生成した制御指令を可動部材の作動器へ出力するという一連の処理を繰り返すことにより、飛行中の航空機への垂直乱気流の影響を効果的に軽減する方法が提案されている（例えば、特許文献4参照）。

【0007】

また、外部励振を示す信号を生成するステップと、航空機に対して導入される動的構造負荷を低減するように、先行制御ルールに従って、励振を示す信号から、航空機の制御要素を駆動するための先行制御信号を導出するステップと、先行制御の実績を示す誤差信号を生成するステップと、動的構造負荷を最小化するように、誤差信号、励振を示す信号によって先行制御ルールを最適化するステップとを含み、航空機の動的構造負荷を効果的に低減する方法が提案されている（例えば、特許文献5参照）。

10

【先行技術文献】

【特許文献】

【0008】

【特許文献1】特開平8-310495号公報

【特許文献2】特表2008-500525号公報

【特許文献3】特開2011-117889号公報

【特許文献4】特表2009-511339号公報

【特許文献5】特表2009-524547号公報

【発明の概要】

20

【発明が解決しようとする課題】

【0009】

ところで、航空機、空飛ぶ車等の飛行体にとって、その飛行経路の気流の状態または気流の変化などに関する情報を事前に高精度で取得し、取得した情報に基づいて、飛行経路の変更或いは気流の状態または気流の変化に応じた飛行制御を実行することが、飛行体の飛行安定性および安全性を確保する上で重要である。また、気流の状態は比較的短い時間間隔で時々刻々と変化する。そのため、飛行体から遠方の領域の気流の状態に関する情報に基づいて飛行体はその領域に突入する際の制御状態を決定しても、飛行体が実際にその領域に突入した時点では、気流の状態が制御状態を決定した時点とは異なり、決定した制御状態が実際の気流の状態に適合しない場合がある。この場合、飛行体の飛行安定性および安全性が十分に確保できない虞がある。従って、飛行体にできるだけ近い領域の気流の状態に関する情報に基づいて飛行体を高い精度で制御することが要請されている。このため、飛行体にできるだけ近い領域の気流に関する情報を取得し、飛行体はその領域に突入するまでの間に高速且つ高精度に飛行体の制御状態を決定する技術が望まれている。

30

【0010】

本発明は、上記事由に鑑みてなされたものであり、飛行体の飛行時における飛行体の飛行安定性および安全性を高めることができる飛行制御支援装置および飛行制御支援方法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】

【0011】

40

本発明に係る飛行制御支援装置は、

飛行体の飛行経路に含まれる少なくとも1つの領域の気流の状態を示す気流情報を取得する気流情報取得部と、

前記気流情報から前記少なくとも1つの領域における前記飛行体の飛行状態を予測する飛行状態予測部と、

前記飛行状態予測部により予測される前記飛行体の前記少なくとも1つの領域における飛行状態に基づいて、前記飛行体が前記少なくとも1つの領域を飛行する際の前記飛行体の制御情報を生成する制御情報生成部と、を備え、

前記少なくとも1つの領域は、前記飛行体の飛行中において、前記飛行体の飛行速度と前記飛行状態予測部が前記少なくとも1つの領域における前記飛行体の飛行状態を予測す

50

るのに要する予測時間との積に相当する基準距離以上の距離だけ、前記飛行体の位置から離間した位置に存在する。

【0012】

他の観点から見た、本発明に係る飛行制御支援方法は、

飛行体の飛行経路に含まれる少なくとも1つの領域の気流の状態を示す気流情報を取得するステップと、

前記気流情報から前記少なくとも1つの領域における前記飛行体の飛行状態を予測するステップと、

予測される前記飛行体の前記少なくとも1つの領域における飛行状態に基づいて、前記飛行体が前記少なくとも1つの領域を飛行する際の前記飛行体の制御情報を生成するステップと、を含み、

前記少なくとも1つの領域は、前記飛行体の飛行中において、前記飛行体の飛行速度と前記少なくとも1つの領域における前記飛行体の飛行状態を予測するのに要する予測時間との積に相当する基準距離以上の距離だけ、前記飛行体の位置から離間した位置に存在する。

【発明の効果】

【0013】

本発明によれば、気流情報から少なくとも1つの領域における飛行体の飛行状態を予測する。これにより、例えば飛行体の飛行状態の予測方法として非構造移動格子有限体積法を利用すれば、少なくとも1つの領域における飛行体の飛行状態を高精度に予測でき且つ飛行状態を予測するのに要する予測時間を短縮できるので、その分、飛行中の飛行体の飛行速度と予測時間との積に相当する基準距離を短縮できる。従って、飛行中の飛行体に比較的近い少なくとも1つの領域の気流の状態に関する情報に基づいて、飛行体を高い精度で制御することができるので、飛行体の飛行時における飛行体の飛行安定性および安全性を高めることができる。

【図面の簡単な説明】

【0014】

【図1】本発明の実施の形態に係る飛行体が気流の状態に関する情報を取得する様子を説明するための概略図である。

【図2】実施の形態に係る飛行制御支援装置の構成を示すブロック図である。

【図3】非構造移動格子有限体積法を用いて翼の圧力係数の分布を算出する計算方法の一例を示し、(A)は計算領域を示す図であり、(B)は計算領域内における計算格子を示す図である。

【図4】非構造移動格子有限体積法を用いて翼の圧力係数の分布を算出した結果を示し、(A)は迎角2.67度の場合の圧力分布係数を示す図であり、(B)は迎角4.28度の場合の圧力分布係数を示す図であり、(C)は迎角6.97度の場合の圧力分布係数を示す図である。

【図5】非構造移動格子有限体積法を用いて翼の揚力係数を算出した結果を示す図である。

【図6】非構造移動格子有限体積法を用いて紙ヒコーキの飛行挙動を解析する方法の一例を示し、(A)は解析対象の紙ヒコーキを示す写真であり、(B)は紙ヒコーキの表面の計算格子と計算領域とを示す図である。

【図7】(A)は紙ヒコーキの実際の飛行挙動を示す写真であり、(B)は非構造移動格子有限体積法を用いて紙ヒコーキの飛行挙動をシミュレーションした結果を示す図である。

【図8】(A)は紙ヒコーキのピッチ角の経時変化を示す図であり、(B)は紙ヒコーキの重心位置の経時変化を示す図である。

【図9】実施の形態に係る飛行制御支援装置が実行する飛行制御支援処理の流れの一例を示すフローチャートである。

【図10】(A)は比較例に係る飛行制御支援装置の動作説明図であり、(B)は実施の

10

20

30

40

50

形態の動作説明図である。

【図 1 1】変形例に係る飛行制御支援装置の構成を示すブロック図である。

【図 1 2】変形例に係る飛行制御支援装置が実行する飛行制御支援処理の流れの一例を示すフローチャートである。

【図 1 3】(A)は変形例に係る飛行制御支援装置の動作説明図であり、(B)は変形例に係る飛行制御支援装置の動作を示すタイムチャートである。

【図 1 4】変形例に係る飛行制御支援装置の構成を示すブロック図である。

【図 1 5】変形例に係る飛行制御支援装置が実行する飛行制御支援処理の流れの一例を示すフローチャートである。

【図 1 6】変形例に係る飛行制御支援装置の動作説明図であり、(A)は飛行体が位置 P o s 0 に存在する場合を示す図であり、(B)は飛行体が位置 P o s 1 に移動した場合を示す図である。

【発明を実施するための形態】

【0015】

以下、本発明の実施の形態に係る飛行制御支援装置について図面を参照しながら詳細に説明する。本実施の形態に係る飛行制御支援装置は、航空機、空飛ぶ車等の飛行体に搭載され、飛行体の飛行経路の風速、風向等の気流に関する情報である気流情報を取得し、対応する飛行経路を飛行する前に、取得した気流情報に基づいて、その飛行経路における気流の飛行体の飛行への影響を予測するものである。そして、予測した飛行体への影響に応じて飛行体を制御することにより、飛行体の乗心地の向上とともに、気流の変化のような飛行体の周囲の環境変化に起因した飛行体の揺れを抑制する。

【0016】

例えば図 1 に示すように、本実施の形態に係る飛行制御支援装置 1 は、飛行体 F O 1 に搭載される。また、飛行体 F O 1 は、例えば領域 A における気流の状態を検知する気流検知装置 2 を搭載している。気流検知装置 2 は、レーザ光 L A 1 を飛行体 F O 1 の飛行経路に含まれる大気中の領域 A に放射したときにその領域 A で散乱されて戻ってくる散乱光 S L 1 を受信することにより、領域 A の気流の状態を検知する。そして、気流検知装置 2 は、検知した気流の状態を示す気流情報を飛行制御支援装置 1 へ出力する。ここで、気流検知装置 2 は、気流情報とともに、検知対象の領域 A を識別する領域識別情報を飛行制御支援装置 1 へ出力する。飛行体 F O 1 が、地上の建造物 S T 1 の高さ比べて十分に高い位置を飛行する場合、飛行制御支援装置 1 は、気流検知装置 2 から入力される気流情報に基づいて、飛行体 F O 1 が領域 A を飛行する際の飛行状態を予測する。

【0017】

また、建造物 S T 1 に例えば領域 A における気流の状態を検知する気流検知装置 1 2 と、飛行体 F O 1 と無線通信する無線通信装置 1 1 と、が設置されている場合がある。気流検知装置 1 2 は、レーザ光 L A 2 を飛行体 F O 1 の飛行経路に含まれる大気中の領域 A に放射したときにその領域 A で散乱されて戻ってくる散乱光 S L 2 を受信することにより、領域 A の気流の状態を検知する。この場合、そして、気流検知装置 1 2 は、検知した気流の状態を示す気流情報と検知対象の領域 A を識別する領域識別情報 D A 2 とを無線通信装置 1 1 へ出力する。無線通信装置 1 1 は、気流検知装置 1 2 から入力される気流情報 D A 1 と領域識別情報 D A 2 とを飛行体 F O 1 へ無線で送信する。飛行体 F O 1 が、建造物 S T の高さ比べて同等若しくは少し高い位置を飛行する場合、飛行制御支援装置 1 は、建造物 S T に設置された無線通信装置 1 1 から受信する気流情報に基づいて、飛行体 F O 1 が領域 A を飛行する際の飛行状態を予測する。飛行体 F O 1 が、例えば空飛ぶ車のように、軽量化が要請されるものである場合、建造物 S T 1 に設置された気流検知装置 1 2 により検知された気流情報に基づいて、飛行体 F O 1 の飛行状態を予測する構成とするのが有効である。

【0018】

また、飛行体 F O 1 は、更に、飛行体 F O 1 に搭載されたエンジンおよび各種アクチュエータを制御する飛行制御装置 3 と、飛行制御支援装置 1 から通知される各種報知情報を

10

20

30

40

50

飛行体 F O 1 の操縦者に報知する報知装置 4 と、を備える。飛行制御装置 3 は、飛行制御支援装置 1 から入力される制御情報に基づいて、飛行体 F O 1 に搭載されたエンジンおよび飛行姿勢を制御するための各種アクチュエータを制御する。即ち、飛行制御装置 3 は、飛行制御支援装置 1 が飛行体 F O 1 の将来の飛行経路における飛行状態を予測した結果に基づいて生成した制御情報により飛行体 F O 1 の飛行を制御する予測制御を実行する。なお、飛行制御装置 3 は、飛行体 F O 1 の現在の飛行状態に基づいて飛行体 F O 1 の飛行を制御するフィードバック制御も予測制御と同時に実行する。報知装置 4 は、液晶ディスプレイのような表示装置（図示せず）に各種報知情報を表示したり、スピーカ（図示せず）を介して各種報知情報に対応する音声を出力したりすることにより、各種報知情報を飛行体 F O 1 の操縦者に報知する。

10

**【 0 0 1 9 】**

飛行制御支援装置 1 は、図 2 に示すように、C P U (Central Processing Unit) 1 0 1 と主記憶部 1 0 2 と補助記憶部 1 0 3 とインタフェース 1 0 6 と通信部 1 0 7 と各部を接続するバス 1 0 9 とを備える。主記憶部 1 0 2 は、R A M (Random Access Memory) のような揮発性メモリから構成され、C P U 1 0 1 の作業領域として使用される。補助記憶部 1 0 3 は、磁気ディスク、半導体メモリ等の不揮発性メモリから構成され、飛行制御支援装置 1 の各種機能を実現するためのプログラムを記憶する。インタフェース 1 0 6 は、気流検知装置 2 から入力される気流情報を C P U 1 0 1 へ出力したり、C P U 1 0 1 から入力される制御情報を飛行制御装置 3 へ出力したりする。また、インタフェース 1 0 6 は、飛行制御支援装置 1 から操縦者へ報知すべき各種情報が入力されると、その各種情報を報知装置 4 へ出力する。通信部 1 0 7 は、建造物 S T に設置された無線通信装置 1 1 と通信するための無線モジュールを有し、建造物 S T に設置された無線通信装置 1 1 から気流情報を受信すると、受信した気流情報を C P U 1 0 1 へ出力する。

20

**【 0 0 2 0 】**

この飛行制御支援装置 1 では、C P U 1 0 1 が、補助記憶部 1 0 3 が記憶するプログラムを主記憶部 1 0 2 に読み込んで実行することにより、気流情報取得部 1 1 1、飛行状態予測部 1 1 2、判定部 1 1 3、制御情報生成部 1 1 4 および経路変更推奨情報生成部 1 1 6 として機能する。また、補助記憶部 1 0 3 は、気流情報記憶部 1 3 1 と、制御情報記憶部 1 3 2 と、を有する。気流情報記憶部 1 3 1 は、飛行体 F O 1 に搭載された気流検知装置 2 から取得した気流情報または無線通信装置 1 1 から受信した気流情報を、飛行体 F O 1 の飛行経路中の領域を識別する領域識別情報に対応づけて記憶する。制御情報記憶部 1 3 2 は、飛行体 F O 1 の飛行経路中の領域に応じた制御情報を、その領域を識別する領域識別情報に対応づけて記憶する。飛行経路記憶部 1 3 3 は、飛行体 F O 1 の飛行経路を示す情報を記憶する。

30

**【 0 0 2 1 】**

気流情報取得部 1 1 1 は、飛行経路記憶部 1 3 3 から飛行体 F O 1 の飛行経路を示す飛行経路情報を取得し、取得した飛行経路中に含まれる飛行状態予測部 1 1 2 により飛行状態を予測する予測対象領域を特定する。そして、気流情報取得部 1 1 1 は、飛行体 F O 1 に搭載された気流検知装置 2 から出力される予測対象領域における気流情報を取得する。また、気流情報取得部 1 1 1 は、建造物 S T に設置された無線通信装置 1 1 から送信される予測対象領域における気流情報を、通信部 1 0 7 を介して取得する。気流情報取得部 1 1 1 は、受信した気流情報を、飛行体 F O 1 の飛行経路中の領域を識別する領域識別情報に対応づけて気流情報記憶部 1 3 1 に記憶させる。また、気流情報取得部 1 1 1 が特定した領域は、飛行体 F O 1 の飛行中において、飛行体 F O 1 の飛行速度と飛行状態予測部 1 1 2 が特定した領域における飛行体 F O 1 の飛行状態を予測するのに要する予測時間との積に相当する基準距離以上の距離だけ、飛行体 F O 1 の位置から離間した位置に存在するように設定されている。

40

**【 0 0 2 2 】**

飛行状態予測部 1 1 2 は、非構造移動格子有限体積法を利用して、気流情報記憶部 1 3 1 が記憶する気流情報から、予測対象領域における飛行体 F O 1 の飛行状態を予測する。

50

ここで、飛行状態予想部 1 1 2 が利用する非構造移動格子有限体積法について詳細に説明する。

#### 【 0 0 2 3 】

非構造移動格子有限体積法とは、非構造格子を用いた移動格子法の一つであり、物体や境界を表現する計算格子を時間と共に移動させて流体の挙動を計算する計算手法である。この計算格子とは、流れ場における圧力、密度、速度等の物理量を定義する点である格子点を繋げたものである。この計算格子は、3次元の場合において格子点が互いに直交する3方向へ秩序良く配列された構造格子と、格子点が3方向へ無秩序に配列された非構造格子と、に大別される。このうち、構造格子は、計算効率が高いという利点があるが、航空機、ヘリコプタ等の複雑な形状を有する飛行体の形状を表現するのが難しい。これに対し、非構造格子は、複雑な形状を有する飛行体の形状を適切に表現できるという利点がある。そして、非構造格子全体を時間とともに移動させながら流体の挙動を計算する計算手法が非構造移動格子有限体積法である。この非構造移動格子有限体積法は、互いに直交する3方向の空間軸に時間軸を加えた4次元の時空間ベクトルを用いて計算する点が、3次元の空間ベクトルを用いて計算する有限体積法と相違する。この非構造移動格子有限体積法によれば、3次元の有限体積法により流体の挙動を計算する場合の高い精度を維持しつつ、3次元の有限体積法に比べて効率よく短時間で流体の挙動を計算することができる。

10

#### 【 0 0 2 4 】

ここで、非構造移動格子有限体積法を用いた流体の挙動を解析した例について説明する。まず、非構造移動格子有限体積法を用いて振動する翼の周りを流れる流体の挙動を解析した本願発明者らによる例（非特許文献1：日本機械学会論文集B編，第75巻750号，pp. 213 - 218参照）について説明する。レイノルズ数、即ち、流体の慣性力と粘性力との比が高い圧縮性粘性流体の場合、境界層の厚さが非常に薄くなるため、境界層付近の分解能を高めようとする、境界層付近の表面法線方向に対する計算格子の長さが非常に短くなってしまふ。そうすると、境界層付近において、振動の振幅が計算格子の長さに対して極めて大きくなり（例えば数千倍）、その分、流体の挙動解析に膨大な計算量が必要となってしまふ。

20

#### 【 0 0 2 5 】

これに対して、非特許文献1に記載された流体の挙動解析では、計算格子の移動に伴う幾何的な保存則を満足させている。これにより、計算格子が大きく移動することによる計算誤差を低減することができるので、流体の挙動解析を高精度に行うことができる。また、非特許文献1に記載された流体の挙動解析では、計算格子として、テトラ（4面体）型計算格子、プリズム（5面体）型計算格子またはピラミッド（5面体）型計算格子を採用することにより、レイノルズ数の高い圧縮性粘性流体の挙動を効率良く計算できる。具体的には、翼の表面ではプリズム型計算格子を採用し、翼の外側ではテトラ型計算格子を採用し、各計算格子に対して非構造移動格子有限体積法を用いて物理量を計算する。

30

#### 【 0 0 2 6 】

非特許文献1に記載された流体の挙動解析では、図3（A）に示すように、計算領域として半径が翼Wのコード長Lの1.1倍（直径2.2L）である円形の領域を採用した。そして、計算格子として、図3（B）に示すようなテトラ型計算格子とプリズム型計算格子を含むハイブリッド型の計算格子を採用した。この計算格子には、テトラ型計算格子が282201個、プリズム型計算格子が12480個含まれている。また、プリズム型計算格子の格子幅の最小値は、 $2.0 \times 10^{-5}$ に設定した。また、流体は、翼Wに対して矢印AR100の方向に流れるものとした。

40

#### 【 0 0 2 7 】

図3（A）における迎角  $\alpha$  を2.67度、4.28度、6.97度に設定した場合それぞれの翼Wの圧力係数分布  $C_p$  の計算値と実験値とを図4（A）乃至（C）に示す。迎角  $\alpha$  は、翼Wに対して流体の上流側の端部から翼Wの長さcの1/4の箇所（1/4c）を基点として翼Wを傾けるときの角度に相当する。なお、横軸は、計算格子の位置を翼Wの長さcで規格化した値である。また、圧力係数分布  $C_p$  の計算値は、前述の非構造移動格

50



子有限体積法を用いて計算した値である。図4(A)乃至(C)に示すように、圧力係数分布 $C_p$ の計算値と実験値とは、誤差2%程度で一致することが判った。また、迎角を変化させた場合の翼 $W$ の揚力係数 $C_l$ の計算値と実験値とを図5に示す。ここで、揚力係数 $C_l$ の計算値は、前述の非構造移動格子有限体積法を用いて計算した値である。図5に示すように、揚力係数 $C_l$ の計算値と実験値とは、誤差2%程度で一致することが判った。このように、前述の非構造移動格子有限体積法を用いた流体の挙動解析によれば、実測値との誤差が2%程度の精度で流体の挙動を解析できることが判る。

#### 【0028】

次に、非構造移動格子有限体積法を用いて紙ヒコーキの飛行状態を解析した本願発明者らによる例(非特許文献2:日本航空宇宙学会論文集,航空宇宙技術,Vol.14,pp.145-152 DOI:10.2322/astj.14.145)について説明する。解析対象となる紙ヒコーキは、図6(A)に示すように、150mm×150mmの正方形の折り紙を用いて作成した全長8cm程度のものである。この紙ヒコーキの挙動解析に当たり、紙ヒコーキを、全長8cmであり、翼幅0.8cm、翼厚 $6 \times 10^{-3}$ cm、後退角67.5度の三角翼を有するものとして解析を行った。そして、この紙ヒコーキのモデルについて、図6(B)に示すように、計算格子と計算領域とを設定した。ここで、計算格子の数は120個×95個×90個の構造格子とした。また、紙ヒコーキの速度をその平均飛行速度の2m/sとし、紙ヒコーキの周りの空気の動粘性係数を $1.512 \times 10^{-5}$  m<sup>2</sup>/sとし、レイノルズ数を10000とした。更に、紙ヒコーキが、静止流体中を移動すると仮定した。そして、紙ヒコーキを鉛直下方へ落下飛行させた場合の実際の紙ヒコーキの挙動と計算により得られた紙ヒコーキの挙動とを比較した。なお、実際の紙ヒコーキの挙動は、紙ヒコーキを静止した状態から鉛直下方へ落下させた直後からカメラで0.05sec間隔で撮影することにより取得した。

#### 【0029】

実際の紙ヒコーキの挙動を図7(A)に示し、前述の非構造有限体積法を用いた計算により得られた紙ヒコーキの挙動を図7(B)に示す。図7(A)および(B)から、紙ヒコーキの軌跡および姿勢の変化が一致していることが判る。また、図7(A)および(B)に示す紙ヒコーキの姿勢から紙ヒコーキのピッチ角の経時変化を読み取った結果を図8(A)に示す。また、図7(A)および(B)に示す紙ヒコーキの軌跡から紙ヒコーキの重心位置の経時変化を読み取った結果を図8(B)に示す。図8(A)および(B)から、実際の紙ヒコーキのピッチ角および重心位置の経時変化と、前述の非構造有限体積法を用いた計算により得られた紙ヒコーキのピッチ角および重心位置の経時変化と、が定量的に見て良く一致していることが判る。図8(A)に示すように、最初のピッチ角-90度の状態から徐々にピッチ角が増加し、0.5sec経過後において紙ヒコーキの失速に伴いピッチ角が減少に転じるまで良く一致していることが判る。また、図8(A)に示すように、ピッチ角の最大誤差は4.5%であり、図8(B)に示すように、重心位置の最大誤差は3.9%であった。このように、前述の非構造移動格子有限体積法を用いた紙ヒコーキの挙動解析によれば、実際の紙ヒコーキの挙動を精度良く解析できることが判る。

#### 【0030】

以上説明した非特許文献1、2に記載されているように、非構造移動格子有限体積法を利用した解析方法によれば、高精度且つ高速な解析が可能となる。従って、飛行体F01の飛行状態の解析にこの非構造移動格子有限体積法を利用した解析方法を採用すれば、飛行体F01から比較的近い領域における気流の状態を示す気流情報を用いてその領域における飛行体F01の飛行状態を予測できる。これにより、飛行体F01の飛行の予測制御をより適切に行うことが可能となり、飛行体F01の安定した飛行状態のロバスト性が向上するという利点がある。そこで、本実施の形態に係る飛行状態予想部112は、この非構造移動格子有限体積法を利用して飛行体F01の飛行状態を予測する。

#### 【0031】

図2に戻って、判定部113は、飛行状態予想部112により飛行体F01の飛行状態が予測された予測対象領域において、安定した飛行制御が可能であるか否かを判定する。

**【 0 0 3 2 】**

制御情報生成部 1 1 4 は、判定部 1 1 3 により飛行状態予測部 1 1 2 により飛行体 F O 1 の飛行状態を予測した領域において、安定した飛行制御が可能であると判定されると、飛行状態予測部 1 1 2 により予測されるその領域における飛行体 F O 1 の飛行状態に基づいて、飛行体 F O 1 がその領域を飛行する際の飛行体 F O 1 の制御情報を生成する。制御情報生成部 1 1 4 は、生成した制御情報を制御情報記憶部 1 3 2 に記憶させる。

**【 0 0 3 3 】**

出力部 1 1 5 は、飛行制御装置 3 から飛行体 F O 1 が飛行している領域を示す飛行領域情報を取得し、取得した飛行領域情報に基づいて、制御情報記憶部 1 3 2 が記憶している制御情報を飛行制御装置 3 へ出力する。

10

**【 0 0 3 4 】**

経路変更推奨情報生成部 1 1 6 は、判定部 1 1 3 により飛行状態予測部 1 1 2 により飛行体 F O 1 の飛行状態を予測した領域において、安定した飛行制御が不可能であると判定されると、飛行体 F O 1 の飛行経路の変更を促す経路変更推奨情報を生成する。そして、経路変更推奨情報生成部 1 1 6 は、生成した経路変更推奨情報を報知装置 4 へ出力する。

**【 0 0 3 5 】**

次に、本実施の形態に係る飛行制御支援装置 1 が実行する飛行制御支援処理について図 9 を参照しながら説明する。この飛行制御支援処理は、例えば飛行体 F O 1 の操縦者が飛行制御支援装置 1 へ電源を投入した後、飛行制御支援処理を実行させるための操作を行ったことを契機として開始される。まず、気流情報取得部 1 1 1 は、飛行経路記憶部 1 3 3 から飛行体 F O 1 の飛行経路を示す飛行経路情報を取得し、取得した飛行経路中に含まれる予測対象領域を特定する（ステップ S 1 0 1）。次に、気流情報取得部 1 1 1 は、飛行体 F O 1 に搭載された気流検知装置 2 から出力される予測対象領域における気流情報を取得する（ステップ S 1 0 2）。

20

**【 0 0 3 6 】**

続いて、飛行状態予測部 1 1 2 は、非構造移動格子有限体積法を利用して、気流情報記憶部 1 3 1 が記憶する気流情報から、予測対象領域における飛行体 F O 1 の飛行状態を予測する（ステップ S 1 0 3）。その後、判定部 1 1 3 は、飛行状態予測部 1 1 2 により飛行体 F O 1 の飛行状態が予測された予測対象領域において、安定した飛行制御が可能であるか否かを判定する（ステップ S 1 0 4）。

30

**【 0 0 3 7 】**

ここで、判定部 1 1 3 により予測対象領域において、安定した飛行制御が可能であると判定されたとする（ステップ S 1 0 4 : Y e s）。この場合、制御情報生成部 1 1 4 は、飛行状態予測部 1 1 2 により予測される予測対象領域における飛行体 F O 1 の飛行状態に基づいて、飛行体 F O 1 がその領域を飛行する際の飛行体 F O 1 の制御情報を生成する（ステップ S 1 0 5）。そして、制御情報生成部 1 1 4 は、生成した制御情報を制御情報記憶部 1 3 2 に記憶させる。次に、出力部 1 1 5 は、飛行制御装置 3 から飛行体 F O 1 が飛行している領域を示す飛行領域情報を取得し、取得した飛行領域情報に基づいて、制御情報記憶部 1 3 2 が記憶している制御情報をフィードフォワード制御に活用するために飛行制御装置 3 へ出力する（ステップ S 1 0 6）。続いて、再びステップ S 1 0 1 の処理が実行される。

40

**【 0 0 3 8 】**

一方、判定部 1 1 3 により予測対象領域において安定した飛行制御が不可能であると判定されたとする（ステップ S 1 0 4 : N o）。この場合、経路変更推奨情報生成部 1 1 6 は、飛行体 F O 1 の飛行経路の変更を促す経路変更推奨情報を生成し、生成した経路変更推奨情報を報知装置 4 へ出力する（ステップ S 1 0 7）。その後、再びステップ S 1 0 1 の処理が実行される。

**【 0 0 3 9 】**

次に、本実施の形態に係る飛行制御支援装置 1 の動作の特徴について比較例と比較しながら説明する。図 1 0 に示すように、本実施の形態に係る飛行制御支援装置 1 並びに比較

50

例に係る飛行制御支援装置は、共に、飛行体 F O 1 の飛行経路 F P 1 中の予測対象領域の気流情報を取得し、取得した気流情報に基づいて、飛行体 F O 1 がその予測対象領域を飛行する際の飛行状態を予測し、予測した飛行状態に応じて飛行体 F O 1 の制御情報を生成する。即ち、飛行制御支援装置 1 は、予測対象領域における飛行体 F O 1 の飛行状態を予測することにより、飛行体 F O 1 の予測制御（フィードフォワード制御）を実行する。これにより、飛行体 F O 1 のフィードバック制御のみでは対応できない気流の乱れが生じた状態でも、飛行体 F O 1 の飛行の安定性を維持できる。但し、比較例に係る飛行制御支援装置は、前述の非構造移動格子有限体積法を利用せずに飛行体 F O 1 が予測対象領域を飛行する際の飛行状態を予測する。このため、飛行体 F O 1 が 1 つの予測対象領域を飛行する際の飛行状態の予測に要する時間が、本実施の形態に係る飛行制御支援装置 1 のそれに比べて長い。比較例に係る飛行制御支援装置の場合、例えば図 10 ( A ) に示すように、飛行体 F O 1 が位置 P o s 0 を飛行している場合、飛行体 F O 1 の飛行速度 V 1 と飛行制御支援装置が予測対象領域 A 2 における飛行体 F O 1 の飛行状態を予測するのに要する予測時間  $t_9$  との積に相当する基準距離  $V_1 \times t_9$  だけ、位置 P o s 0 から離間した位置 P o s 9 1 を含む予測対象領域 A 2 を飛行する場合の飛行状態を予測することになる。また、比較例に係る飛行制御支援装置の場合、飛行体 F O 1 が位置 P o s 9 1 を飛行している場合、飛行体 F O 1 の飛行速度 V 1 と飛行制御支援装置が予測対象領域 A 2 における飛行体 F O 1 の飛行状態を予測するのに要する予測時間  $t_9$  との積に相当する基準距離  $V_1 \times t_9$  だけ、位置 P o s 9 1 から離間した位置 P o s 9 2 を含む予測対象領域 A 4 を飛行する場合の飛行状態を予測することになる。そして、予測対象領域 A 2、A 4 の間の領域における飛行状態は予測できない。従って、比較例に係る飛行制御支援装置の場合、飛行体 F O 1 から比較的長い距離  $V_1 \times t_9$  離間した予測対象領域 A 2、A 4 での飛行体 F O 1 の飛行状態を予測した結果に基づいて飛行体 F O 1 の飛行を制御することになる。この場合、飛行体 F O 1 から比較的近い領域で突風の発生のように気流に大きな経時的変化が生じた場合に、飛行体 F O 1 の飛行の制御に支障が出る虞がある。

#### 【 0 0 4 0 】

これに対して、本実施の形態に係る飛行制御支援装置 1 の場合、例えば図 10 ( B ) に示すように、飛行体 F O 1 が位置 P o s 0 を飛行している場合、飛行体 F O 1 の飛行速度 V 1 と飛行制御支援装置が予測対象領域 A 2 における飛行体 F O 1 の飛行状態を予測するのに要する予測時間  $t_1$  との積に相当する基準距離  $V_1 \times t_1$  だけ、位置 P o s 0 から離間した位置 P o s 1 を含む予測対象領域 A 1 を飛行する場合の飛行状態を予測することになる。そして、本実施の形態に係る飛行制御支援装置 1 の場合、飛行体 F O 1 が位置 P o s 1、P o s 2、P o s 3 それぞれを飛行している場合、飛行体 F O 1 の飛行速度 V 1 と飛行制御支援装置が予測対象領域 A 2、A 3、A 4 における飛行体 F O 1 の飛行状態を予測するのに要する予測時間  $t_s 1$  との積に相当する基準距離以上の距離  $V_1 \times t_1$  (  $t_s 1$  ) だけ、位置 P o s 1、P o s 2、P o s 3 それぞれから離間した位置 P o s 2、P o s 3、P o s 4 を含む予測対象領域 A 2、A 3、A 4 それぞれを飛行する場合の飛行状態を予測することになる。即ち、本実施の形態に係る飛行制御支援装置 1 は、比較例に係る飛行制御支援装置に比べて、短い間隔で並んだ予測対象領域 A 1、A 2、A 3、A 4 それぞれについて飛行状態を予測できる。このため、飛行体 F O 1 に比較的近い予測対象領域 A 1、A 2、A 3、A 4 での飛行体 F O 1 の飛行状態を予測した結果に基づいて飛行体 F O 1 の飛行を制御できる。従って、飛行体 F O 1 から比較的近い領域で気流の大きな経時的変化が生じた場合であっても、飛行体 F O 1 の飛行を適切に制御することができ、飛行体 F O 1 の飛行の安定性を維持することができる。

#### 【 0 0 4 1 】

以上説明したように、本実施の形態に係る飛行制御支援装置 1 によれば、飛行状態予測部 1 1 2 が、非構造移動格子有限体積法を利用して気流情報から予測対象領域における飛行体の飛行状態を予測する。これにより、予測対象領域における飛行体 F O 1 の飛行状態を高精度に予測でき且つ飛行状態を予測するのに要する予測時間を短縮できるので、その分、飛行中の飛行体 F O 1 の飛行速度と予測時間との積に相当する基準距離を短縮できる

。従って、飛行中の飛行体 F O 1 に比較的近い予測対象領域の気流の状態に関する情報に基づいて、飛行体 F O 1 の飛行を高い精度で制御することができるので、飛行体 F O 1 の飛行時における飛行体 F O 1 の飛行安定性および安全性を高めることができる。

【 0 0 4 2 】

また、本実施の形態に係る飛行制御支援装置 1 によれば、飛行状態予測部 1 1 2 が、非構造移動格子有限体積法を利用して気流情報から予測対象領域における飛行体の飛行状態を予測するため、飛行制御支援装置 1 に要求される処理負荷が軽減される。従って、本実施の形態に係る飛行制御支援装置 1 は、例えば空飛ぶ車のように航空機に比べて処理能力が低い情報処理装置しか搭載できないような飛行体 F O 1 にも搭載することが可能となるので、適用範囲を広げることができる。

10

【 0 0 4 3 】

更に、本実施の形態に係る飛行制御支援装置 1 では、経路変更推奨情報生成部 1 1 6 が、予測対象領域における飛行体 F O 1 の飛行状態に基づいて、飛行体 F O 1 の飛行経路の変更を促す経路変更推奨情報を生成する。そして、経路変更推奨情報生成部 1 1 6 は、生成した経路変更推奨情報を報知装置 4 へ出力する。これにより、飛行体 F O 1 の操縦者は、例えば飛行体 F O 1 の飛行状態が安定しない領域を事前に回避するように飛行体 F O 1 の飛行経路を変更することができる。従って、飛行体 F O 1 の飛行中の安全性を高めることができる。

【 0 0 4 4 】

以上、本発明の実施の形態について説明したが、本発明は前述の実施の形態の構成に限定されるものではない。例えば、飛行状態予測部が、予測対象領域に対応する気流情報に基づいて、非構造移動格子有限体積法における計算格子の数または計算格子の形状を決定するものであってもよい。

20

【 0 0 4 5 】

本変形例に係る飛行制御支援装置 2 0 0 1 は、例えば図 1 1 に示すように、気流情報取得部 2 1 1 1、気流算出部 2 1 1 2、予測対象領域特定部 2 1 1 3、飛行状態予測部 2 1 1 4、判定部 2 1 1 5、制御情報生成部 1 1 4、出力部 1 1 5 および経路変更推奨情報生成部 1 1 6 として機能する。なお、図 1 1 において、実施の形態と同様の構成については図 2 と同一の符号を付している。

【 0 0 4 6 】

気流情報取得部 2 1 1 1 は、飛行経路記憶部 1 3 3 から飛行体 F O 1 の飛行経路を示す飛行経路情報を取得し、取得した飛行経路中に含まれる複数の領域を特定する。そして、気流情報取得部 2 1 1 1 は、特定した複数の領域それぞれの気流情報を取得する。気流算出部 2 1 1 2 は、複数の領域それぞれの気流情報に基づいて、複数の領域それぞれにおける気流の大きさを算出する。

30

【 0 0 4 7 】

予測対象領域特定部 2 1 1 3 は、気流算出部 2 1 1 2 により算出される複数の予測対象領域それぞれの気流の大きさに基づいて、複数の予測対象領域の中から、飛行状態予測部 2 1 1 4 により飛行体 F O 1 の飛行状態を予測する対象となる予測対象領域を特定する。具体的には、予測対象領域特定部 2 1 1 3 は、複数の予測対象領域のうち、気流の大きさが予め設定された気流大きさ閾値未満である予測対象領域を、飛行状態予測部 2 1 1 4 により飛行体 F O 1 の飛行状態を予測する対象から除外する。そして、予測対象領域特定部 2 1 1 3 は、複数の予測対象領域のうち、気流の大きさが気流大きさ閾値以上である予測対象領域のみを特定する。

40

【 0 0 4 8 】

飛行状態予測部 2 1 1 4 は、予測対象領域特定部 2 1 1 3 により特定された予測対象領域における飛行体 F O 1 の飛行状態を予測する。また、飛行状態予測部 2 1 1 4 は、特定された予測対象領域それぞれに対応する気流情報に基づいて、非構造移動格子有限体積法における計算格子の数または計算格子の形状を決定する。具体的には、飛行状態予測部 2 1 1 4 は、気流算出部 2 1 1 2 により算出される気流の大きさが大きい予測対象領域ほど

50

計算格子の数が多くなり、気流の大きさが小さい予測対象領域ほど計算格子の数が少くなるように、計算格子の数を設定する。また、飛行状態予測部 2 1 1 4 は、計算格子の数および計算領域に応じて、計算格子の形状を、テトラ型計算格子、プリズム型計算格子およびピラミッド型計算格子の中から選択される形状に設定する。

【 0 0 4 9 】

判定部 2 1 1 5 は、飛行状態予測部 1 1 2 により飛行体 F O 1 の飛行状態が予測された複数の予測対象領域の全てにおいて、安定した飛行制御が可能であるか否かを判定する。判定部 2 1 1 5 は、複数の予測対象領域の中に安定した飛行制御が不可能な予測対象領域が存在する場合、その安定した飛行制御が不可能な予測対象領域を特定する。

【 0 0 5 0 】

次に、本変形例に係る飛行制御支援装置 2 0 0 1 が実行する飛行制御支援処理について図 1 2 を参照しながら説明する。まず、気流情報取得部 2 1 1 1 は、飛行経路記憶部 1 3 3 から飛行体 F O 1 の飛行経路を示す飛行経路情報を取得し、取得した飛行経路中に含まれる複数の領域を特定し、特定した複数の領域それぞれにおける気流情報を取得する（ステップ S 2 0 1）。次に、気流算出部 2 1 1 2 は、飛行体 F O 1 に搭載された気流検知装置 2 から出力される複数の領域それぞれにおける気流情報を取得する（ステップ S 2 0 2）。

【 0 0 5 1 】

続いて、予測対象領域特定部 2 1 1 3 は、気流算出部 2 1 1 2 により算出される複数の予測対象領域それぞれの気流の大きさに基づいて、複数の予測対象領域の中から、飛行状態予測部 2 1 1 4 により飛行体 F O 1 の飛行状態を予測する対象となる予測対象領域を特定する（ステップ S 2 0 3）。その後、飛行状態予測部 2 1 1 4 は、特定された予測対象領域それぞれに対応する気流情報に基づいて、非構造移動格子有限体積法における計算格子の数および形状を決定する（ステップ S 2 0 4）。

【 0 0 5 2 】

次に、飛行状態予測部 2 1 1 4 は、予測対象領域特定部 2 1 1 3 により特定された各予測対象領域における飛行体 F O 1 の飛行状態を、決定した計算格子の数および計算格子の形状での非構造移動格子有限体積法を利用して予測する（ステップ S 2 0 5）。続いて、判定部 2 1 1 5 は、飛行状態予測部 1 1 2 により飛行体 F O 1 の飛行状態が予測された複数の予測対象領域の全てにおいて、安定した飛行制御が可能であるか否かを判定する（ステップ S 2 0 6）。判定部 1 1 3 により複数の予測対象領域の全てにおいて、安定した飛行制御が可能であると判定されたとする（ステップ S 2 0 6 : Y e s）。この場合、制御情報生成部 1 1 4 は、複数の予測対象領域それぞれを飛行する際の飛行体 F O 1 の制御情報を生成し（ステップ S 2 0 7）、出力部 1 1 5 が、制御情報を飛行制御装置 3 へ出力する（ステップ S 2 0 8）。なお、ステップ S 2 0 7、S 2 0 8 の処理は、実施の形態で説明したステップ S 1 0 5、S 1 0 6 の処理と同様である。その後、再びステップ S 2 0 1 の処理が実行される。

【 0 0 5 3 】

一方、判定部 2 1 1 5 は、複数の予測対象領域の中に安定した飛行制御が不可能な予測対象領域が存在すると判定すると（ステップ S 2 0 6 : N o）、その安定した飛行制御が不可能な予測対象領域を特定する（ステップ S 2 0 9）。次に、制御情報生成部 1 1 4 は、複数の予測対象領域のうち、判定部 2 1 1 5 により特定された安定した飛行制御が不可能な予測対象領域を除く予測対象領域それぞれを飛行する際の飛行体 F O 1 の制御情報を生成する（ステップ S 2 1 0）。続いて、出力部 1 1 5 は、飛行制御装置 3 から飛行体 F O 1 が飛行している領域を示す飛行領域情報を取得し、取得した飛行領域情報に基づいて、制御情報を飛行制御装置 3 へ出力する（ステップ S 2 1 1）。また、経路変更推奨情報生成部 1 1 6 は、判定部 2 1 1 5 により特定された安定した飛行制御が不可能な予測対象領域に基づいて、飛行体 F O 1 の飛行経路の変更を促す経路変更推奨情報を生成し、生成した経路変更推奨情報を報知装置 4 へ出力する（ステップ S 2 1 2）。その後、再びステップ S 2 0 1 の処理が実行される。

10

20

30

40

50

## 【0054】

ここで、本変形例に係る飛行制御支援装置2001の動作の特徴について図13を参照しながら説明する。図13(A)に示すように、飛行経路FP1中における予測対象領域B1では穏やかな気流が発生しており、予測対象領域B2では乱気流が発生しているとす。この場合、飛行制御支援装置2001は、穏やかな気流が発生している予測対象領域B1については計算格子の数を減少させても高い精度で飛行体FO1の飛行状態を予測できる。従って、飛行制御支援装置2001は、予測対象領域B1についての計算格子の数を少なく設定する。一方、飛行制御支援装置2001は、乱気流が発生している予測対象領域B2については計算格子の数を増加させないと高い精度で飛行体FO1の飛行状態を予測できない。従って、飛行制御支援装置2001は、予測対象領域B2についての計算格子の数を多く設定する。この場合、飛行制御支援装置2001が予測対象領域B1での飛行体FO1の飛行状態を予測するのに要する時間を短縮することができる。そうすると、図13(B)に示すように、時刻T0で位置Pos0を飛行する飛行体FO1が、時刻T0から時間t2だけ経過して位置Pos0から距離 $V1 \times t2$ だけ離間した位置Pos21に到達するまでに予測対象領域B1での飛行体FO1の飛行状態の予測が完了する。また、飛行制御支援装置2001は、予測対象領域B1での飛行体FO1の飛行状態の予測が完了すると、予測対象領域B2での飛行体FO1の飛行状態の予測を開始する。そして、時刻T1で位置Pos21を飛行する飛行体FO1が、時刻T1から時間t2だけ経過して位置Pos21から距離 $V1 \times t2$ だけ離間した位置Pos22に到達するまでに予測対象領域B2での飛行体FO1の飛行状態の予測が完了する。このように、飛行制御支援装置2001は、飛行体FO1の飛行経路FP1中における飛行体FO1から遠距離に位置する予測対象領域までの複数の予測対象領域についての気流情報を取得し、複数の予測対象領域での飛行体FO1の飛行状態の予測に要する時間と、飛行体FO1が複数の予測対象領域それぞれに到達するまでに要する時間とに基づいて、複数の予測対象領域それぞれに対応する計算格子の数を決定する。

10

20

## 【0055】

本構成によれば、飛行状態予測部2114が、予測対象領域に対応する気流情報に基づいて、非構造移動格子有限体積法における計算格子の数または計算格子の形状を決定する。これにより、複数の予測対象領域それぞれにおける飛行体FO1の飛行状態の予測を効率良く実行することができる。

30

## 【0056】

また、本構成によれば、予測対象領域特定部2113が、気流算出部2112により算出される複数の領域それぞれの気流の大きさに基づいて、複数の領域の中から、飛行体FO1の飛行状態を予測する対象となる予測対象領域を特定する。これにより、飛行状態予測部2114が飛行体FO1の飛行状態を予測する予測対象領域の数を低減することができるので、その分、飛行体FO1の飛行経路中における飛行体FO1の飛行状態の予測を効率良く実行することができる。

## 【0057】

実施の形態において、飛行体FO1の飛行経路中の複数の領域それぞれにおける気流の変化量を算出する気流変化量算出部を備えるものであってもよい。この場合、経路変更推奨情報生成部が、気流変化量算出部により算出される複数の領域それぞれの気流の変化量に基づいて、経路変更推奨情報を生成するようにしてもよい。

40

## 【0058】

本変形例に係る飛行制御支援装置3001は、例えば図14に示すように、気流情報取得部3111、気流変化量算出部3112、飛行状態予測部3113、判定部2115、制御情報生成部114、出力部115および経路変更推奨情報生成部116として機能する。なお、図14において、実施の形態または前述の変形例と同様の構成については図2または図11と同一の符号を付している。

## 【0059】

気流情報取得部3111は、飛行経路記憶部133から飛行体FO1の飛行経路を示す

50

飛行経路情報を取得し、取得した飛行経路中に含まれる複数の予測対象領域を特定する。そして、気流情報取得部 2 1 1 1 は、特定した複数の予測対象領域それぞれの気流情報を取得する。気流変化量算出部 3 1 1 2 は、複数の予測対象領域それぞれの気流情報に基づいて、複数の予測対象領域それぞれにおける気流の変化量を算出する。飛行状態予測部 3 1 1 3 は、複数の予測対象領域それぞれにおける飛行体 F O 1 の飛行状態を予測する。

#### 【 0 0 6 0 】

判定部 3 1 1 4 は、飛行状態予測部 1 1 2 により飛行体 F O 1 の飛行状態が予測された複数の予測対象領域の全てにおいて、安定した飛行制御が可能であるか否かを判定する。判定部 3 1 1 4 は、複数の予測対象領域の中に安定した飛行制御が不可能な予測対象領域が存在する場合、その安定した飛行制御が不可能な予測対象領域を特定する。また、判定部 3 1 1 4 は、少なくとも 1 つの予測対象領域の中に、気流変化量算出部 3 1 1 2 が算出した気流の変化量が予め設定された変化量閾値以上である予測対象領域が有るか否かを判定する。そして、判定部 3 1 1 4 は、少なくとも 1 つの予測対象領域の中に、気流の変化量が変化量閾値以上である予測対象領域が有ると判定した場合、その予測対象領域を特定する。

10

#### 【 0 0 6 1 】

次に、本変形例に係る飛行制御支援装置 3 0 0 1 が実行する飛行制御支援処理について図 1 5 を参照しながら説明する。まず、気流情報取得部 3 1 1 1 は、飛行経路記憶部 1 3 3 から飛行体 F O 1 の飛行経路を示す飛行経路情報を取得し、取得した飛行経路中に含まれる複数の予測対象領域を特定し、特定した複数の予測対象領域それぞれにおける気流情報を取得する（ステップ S 3 0 1）。次に、気流変化量算出部 3 1 1 2 は、過去に気流情報を取得した予測対象領域が有るか否かを判定する（ステップ S 3 0 2）。気流変化量算出部 3 1 1 2 により過去に気流情報を取得した予測対象領域が無いと判定されると（ステップ S 3 0 2 : N o）、そのまま後述のステップ S 3 0 6 の処理が実行される。

20

#### 【 0 0 6 2 】

一方、気流変化量算出部 3 1 1 2 は、過去に気流情報を取得した予測対象領域が有ると判定されると（ステップ S 3 0 2 : N o）、その予測対象領域について気流の変化量を算出する（ステップ S 3 0 3）。続いて、判定部 3 1 1 4 は、少なくとも 1 つの予測対象領域の中に、気流変化量算出部 3 1 1 2 が算出した気流の変化量が予め設定された変化量閾値以上である予測対象領域が有るか否かを判定する（ステップ S 3 0 4）。判定部 3 1 1 4 により少なくとも 1 つの予測対象領域の全てにおいて、気流の変化量が変化量閾値未満であると判定されると（ステップ S 3 0 4 : N o）、そのまま後述のステップ S 3 0 7 の処理が実行される。

30

#### 【 0 0 6 3 】

一方、判定部 3 1 1 4 が、少なくとも 1 つの予測対象領域の中に、気流の変化量が変化量閾値以上である予測対象領域が有ると判定すると（ステップ S 3 0 4 : Y e s）、気流の変化量が変化量閾値以上である予測対象領域を特定する（ステップ S 3 0 5）。続いて、経路変更推奨情報生成部 1 1 6 は、判定部 2 1 1 5 により特定された予測対象領域に基づいて、飛行体 F O 1 の飛行経路の変更を促す経路変更推奨情報を生成し、生成した経路変更推奨情報を報知装置 4 へ出力する（ステップ S 3 0 6）。その後、飛行状態予測部 3 1 1 3 は、各予測対象領域における飛行体 F O 1 の飛行状態を予測する（ステップ S 3 0 7）。次に、ステップ S 3 0 8 以降の処理が実行される。なお、ステップ S 3 0 8 以降の処理は、前述の変形例で説明したステップ S 2 0 6 以降の処理と同様である。

40

#### 【 0 0 6 4 】

ここで、本変形例に係る飛行制御支援装置 3 0 0 1 の動作の特徴について図 1 6 を参照しながら説明する。図 1 6 ( A ) に示すように、飛行体 F O 1 が位置 P o s 0 を飛行している時、飛行制御支援装置 3 0 0 1 は、飛行経路 F P 1 中における位置 P o s 1、P o s 2、P o s 3、・・・、P o s N を含む予測対象領域 C 1、C 2、C 3、・・・、C N の気流情報を取得する。その後、図 1 6 ( B ) に示すように、飛行体 F O 1 が位置 P o s 1 まで飛行すると、飛行制御支援装置 3 0 0 1 は、飛行経路 F P 1 中における位置 P o s 2

50

、Pos 3、・・・、Pos Nを含む予測対象領域C 2、C 3、・・・、C Nの気流情報を取得する。そして、飛行制御支援装置3 0 0 1は、飛行経路FP 1中の各予測対象領域C 2、C 3、・・・、C Nにおける気流の変化量を算出する。このとき、飛行制御支援装置3 0 0 1は、例えば予測対象領域C 3の気流の変化量が予め設定された変化量閾値以上であると判定すると、予測対象領域C 3に基づいて、飛行体FO 1の飛行経路の変更を促す経路変更推奨情報を生成し、生成した経路変更推奨情報を報知装置4へ出力する。

【0 0 6 5】

本構成によれば、経路変更推奨情報生成部1 1 6が、複数の予測対象領域それぞれの気流の変化量に基づいて、飛行体FO 1の飛行経路の変更を促す経路変更推奨情報を生成する。そして、経路変更推奨情報生成部1 1 6は、生成した経路変更推奨情報を報知装置4へ出力する。これにより、飛行体FO 1の操縦者は、例えば飛行体FO 1の安定した飛行制御が不可能な領域を事前に回避するように飛行体FO 1の飛行経路を変更することができる。これにより、気流の経時的変化に基づいて、飛行体FO 1の飛行を制御することができるので、飛行体FO 1の飛行の安定性を高めることができる。

10

【0 0 6 6】

なお、本変形例において、制御情報生成部1 1 4が、複数の予測対象領域それぞれにおける飛行体FO 1の飛行状態の予測結果とともに、複数の予測対象領域それぞれにおける気流の変化量に基づいて、飛行体FO 1の制御情報を生成するものであってもよい。

【0 0 6 7】

また、本変形例において、飛行状態予測部3 1 1 3が、気流の変化量が小さい予測対象領域における飛行体FO 1の飛行状態を予測結果が過去の予測結果に比べて大きく異なる場合、その予測対象領域における飛行体FO 1の飛行状態を予測し直すものであってもよい。

20

【0 0 6 8】

また、本発明に係る飛行制御支援装置1の各種機能は、専用のシステムによらず、通常のコンピュータシステムを用いて実現可能である。例えば、ネットワークに接続されているコンピュータに、上記動作を実行するためのプログラムを、コンピュータシステムが読み取り可能な非一時的な記録媒体(C D - R O M (Compact Disc Read Only Memory)等)に格納して配布し、当該プログラムをコンピュータシステムにインストールすることにより、上述の処理を実行する飛行制御支援装置1を構成してもよい。

30

【0 0 6 9】

また、コンピュータにプログラムを提供する方法は任意である。例えば、プログラムは、通信回線の掲示版(B B S (Bulletin Board System))にアップロードされ、通信回線を介してコンピュータに配信されてもよい。そして、コンピュータは、このプログラムを起動して、O S (Operating System)の制御の下、他のアプリケーションと同様に実行する。これにより、コンピュータは、上述の処理を実行する飛行制御支援装置1として機能する。

【0 0 7 0】

以上、本発明の各実施の形態および変形例(なお書きに記載したものを含む。以下、同様。)について説明したが、本発明はこれらに限定されるものではない。本発明は、実施の形態及び変形例が適宜組み合わせられたもの、それに適宜変更が加えられたものを含む。

40

【産業上の利用可能性】

【0 0 7 1】

本発明は、航空機、空飛ぶ車、ドローン等の飛行体に好適である。

【符号の説明】

【0 0 7 2】

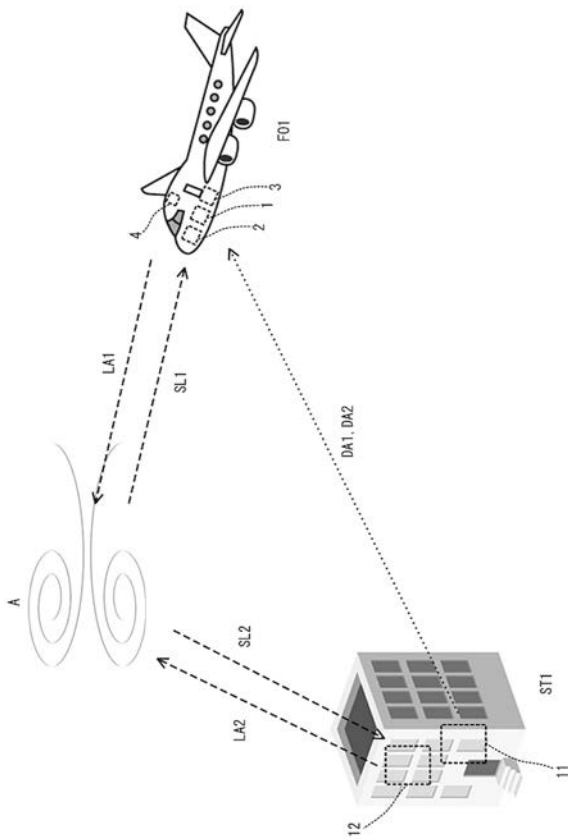
1：飛行制御支援装置、2，1 2：気流検知装置、3：飛行制御装置、4：報知装置、1 1：無線通信装置、1 0 1：C P U、1 0 2：主記憶部、1 0 3：補助記憶部、1 0 6：インタフェース、1 0 7：通信部、1 0 9：バス、1 1 1，2 1 1 1，3 1 1 1：気流情報取得部、1 1 2，2 1 1 4，3 1 1 3：飛行状態予測部、1 1 3，2 1 1 5，3 1 1 4

50

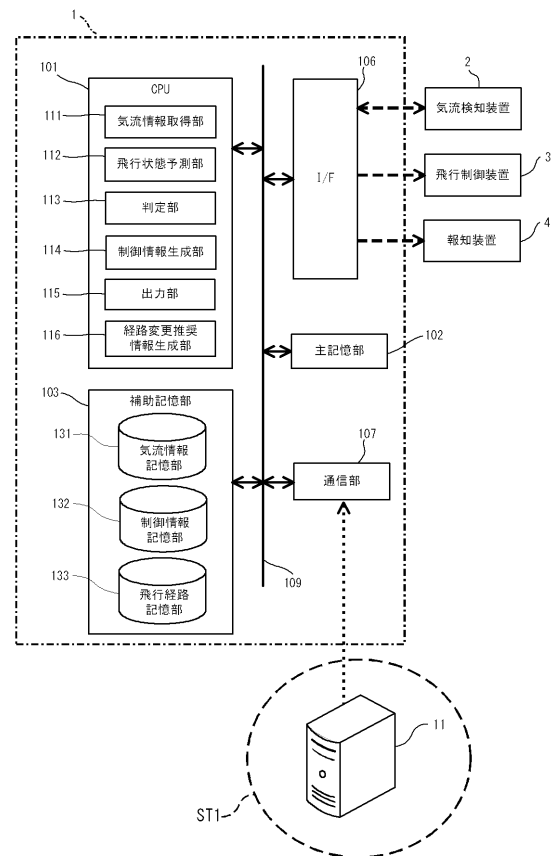


：判定部、114：制御情報生成部、115：経路変更推奨情報生成部、131：気流情報記憶部、132：制御情報記憶部、133：飛行経路記憶部、2112：気流算出部、2113：予測対象領域特定部、3112：気流変化量算出部、A：領域、A1, A2, A3, A4, B1, B2, C1, C2, C3, CN：予測対象領域、DA1：気流情報、DA2：領域識別情報、FO1：飛行体、FP1：飛行経路、LA1, LA2：レーザー光、SL1, SL2：散乱光、ST1：建造物、W：翼

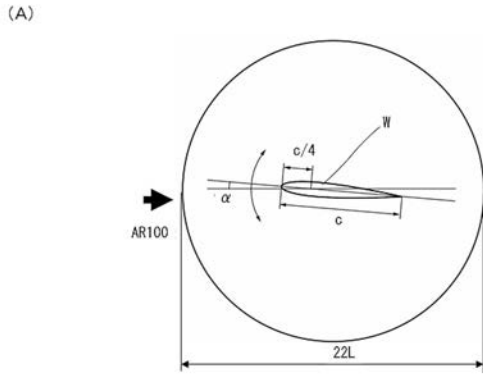
【図1】



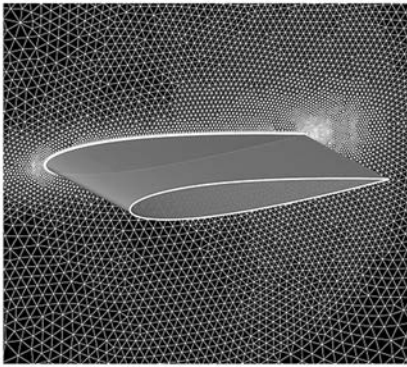
【図2】



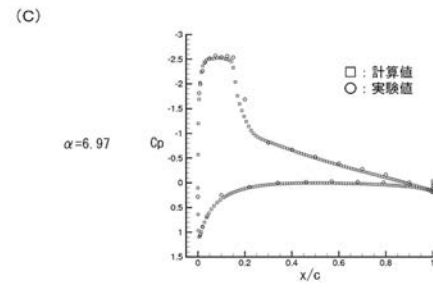
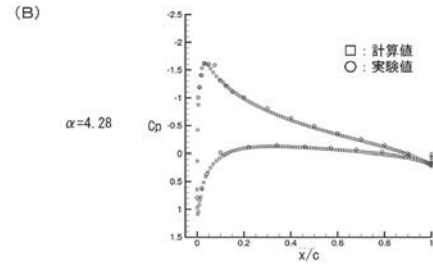
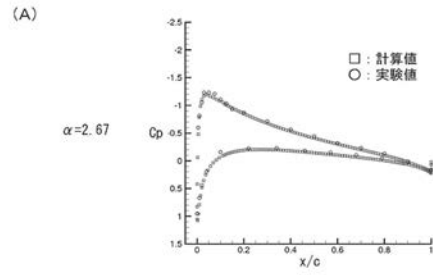
【 図 3 】



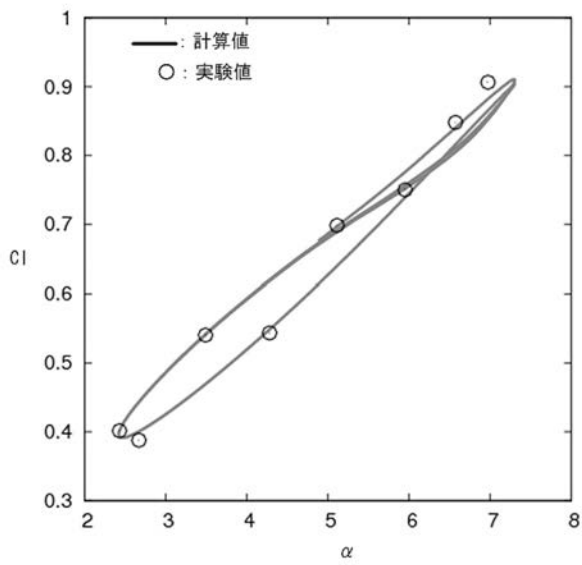
(B)



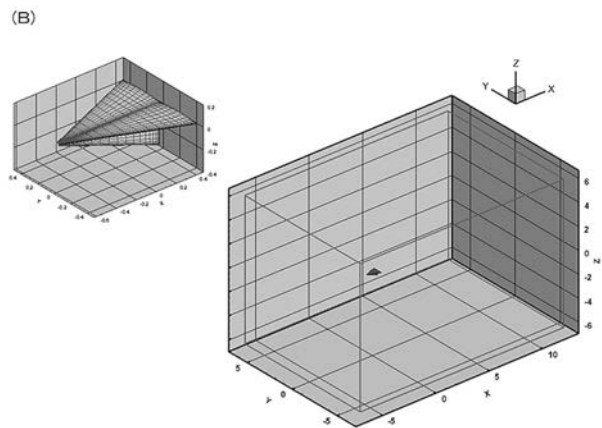
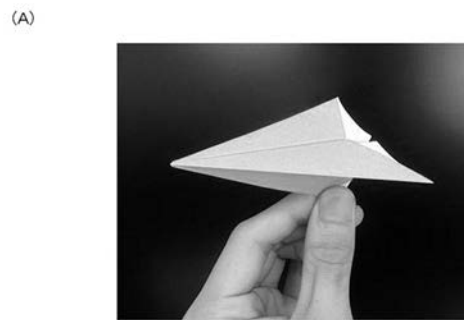
【 図 4 】



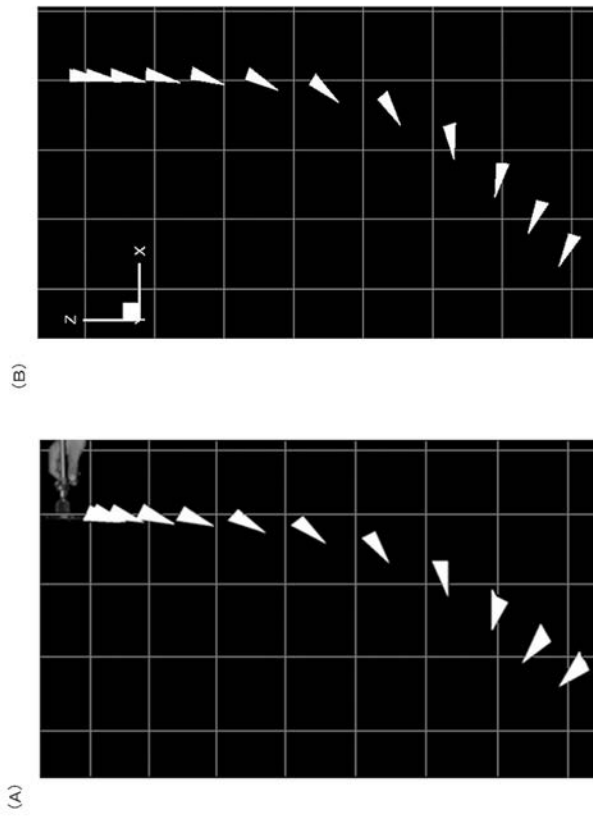
【 図 5 】



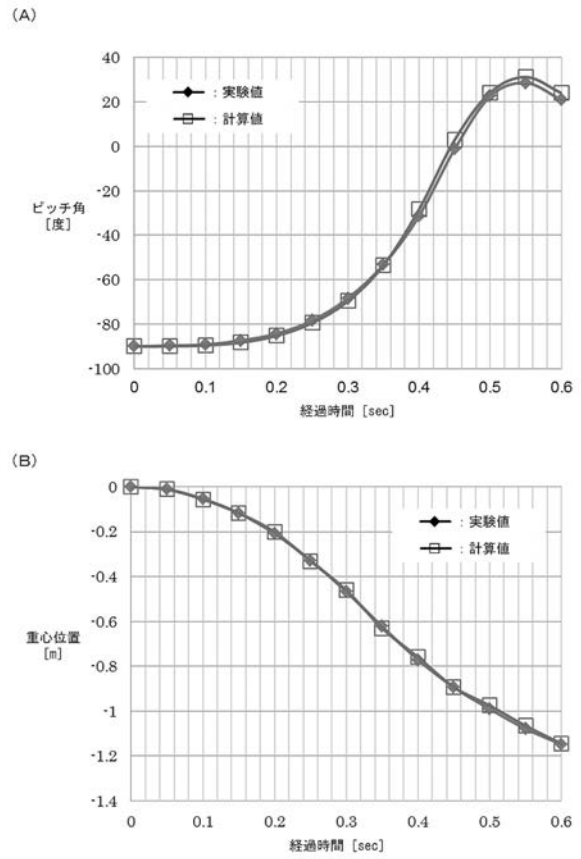
【 図 6 】



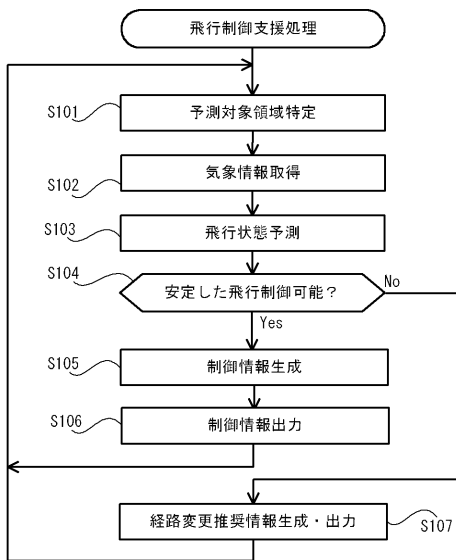
【 図 7 】



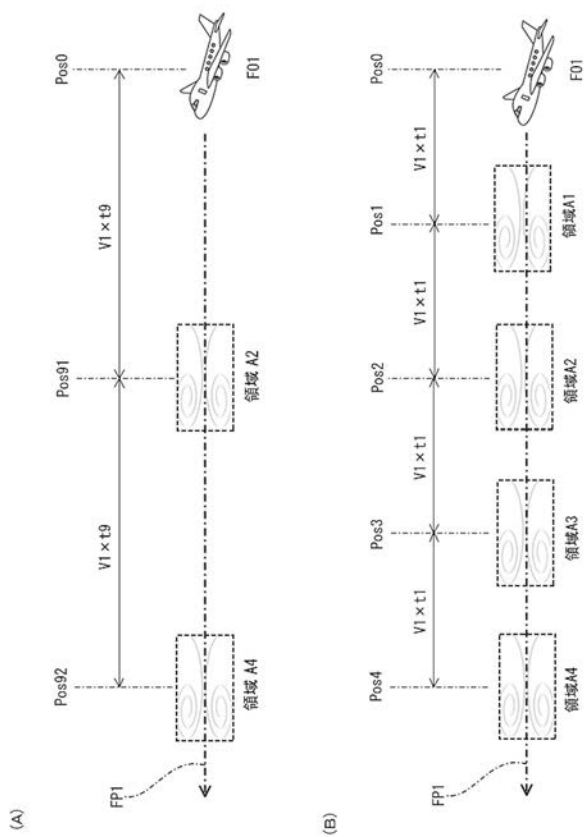
【 図 8 】



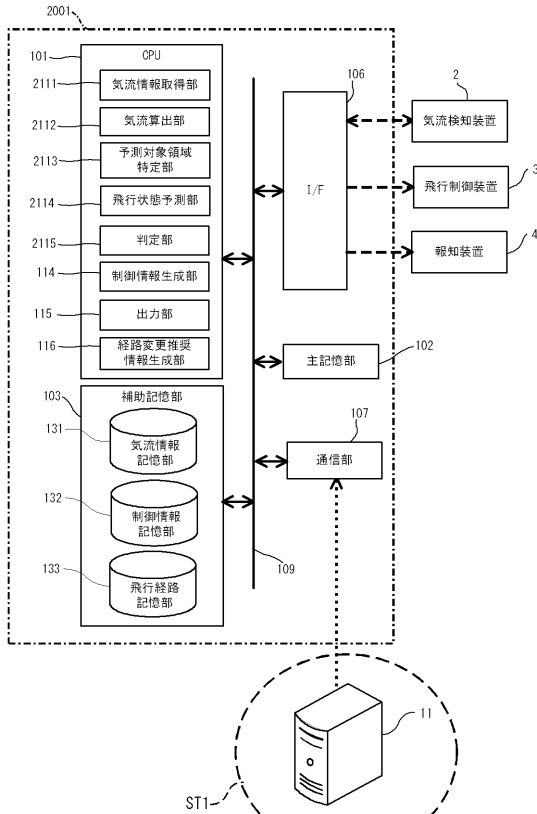
【 図 9 】



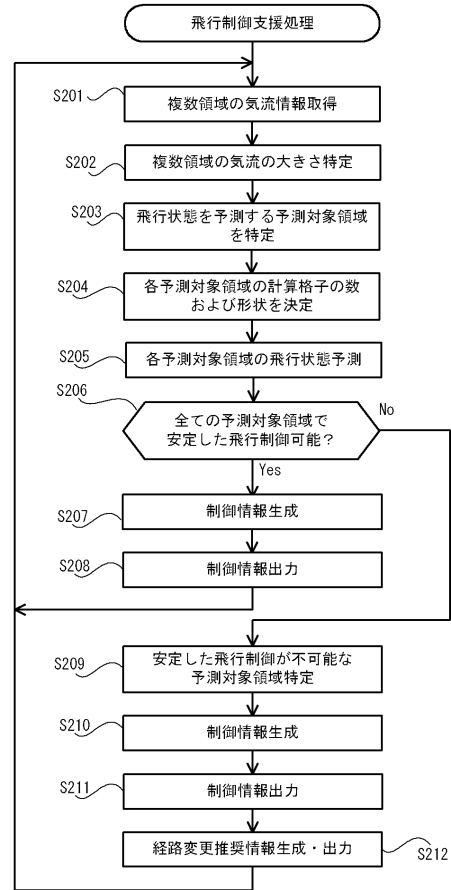
【 図 10 】



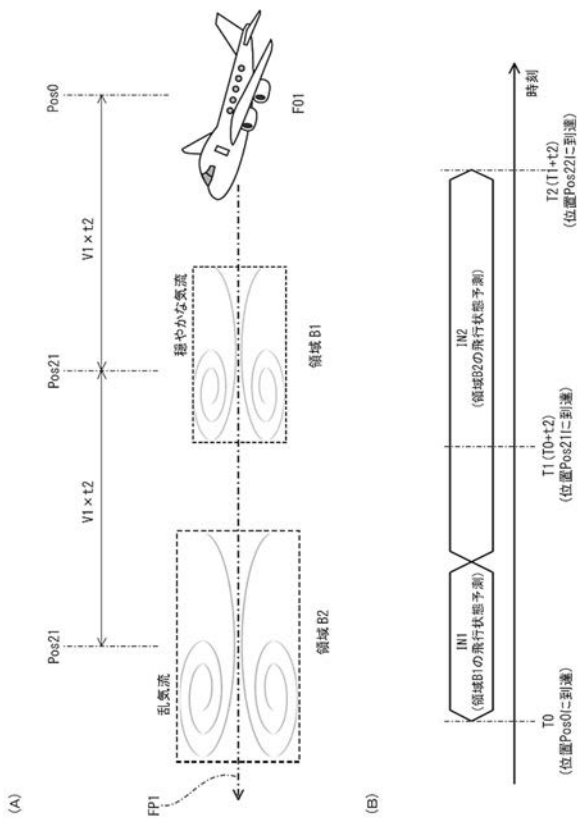
【図 1 1】



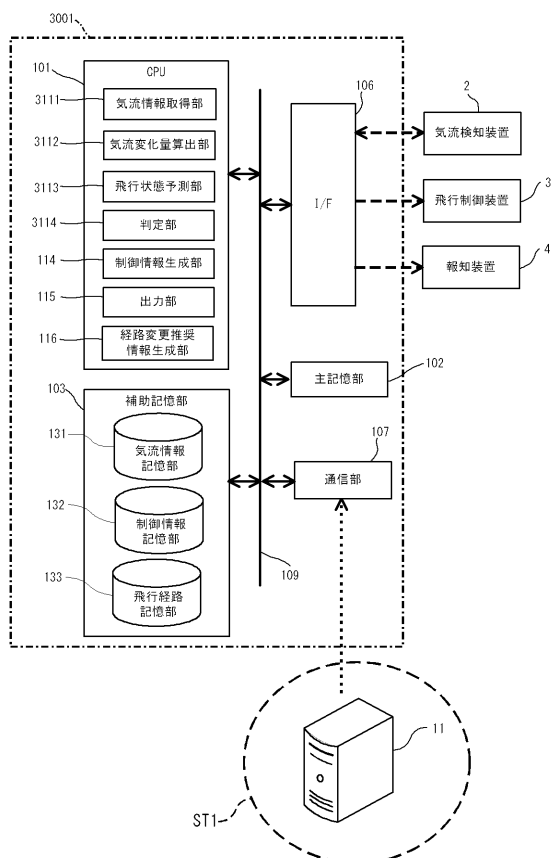
【図 1 2】



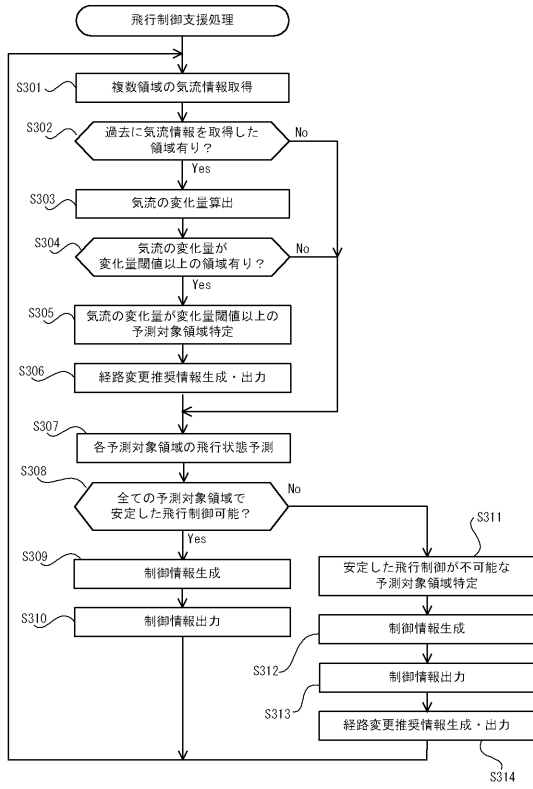
【図 1 3】



【図 1 4】



【 図 1 5 】



【 図 1 6 】

