

(19) 日本国特許庁 (JP)

(12) 特 許 公 報 (B2)

(11) 特許番号

特許第6573799号
(P6573799)

(45) 発行日 令和1年9月11日 (2019.9.11)

(24) 登録日 令和1年8月23日 (2019.8.23)

(51) Int. Cl.	F I
G O 1 W 1/10 (2006.01)	G O 1 W 1/10 A
B 6 4 D 47/00 (2006.01)	B 6 4 D 47/00
B 6 4 F 1/36 (2017.01)	B 6 4 F 1/36
F O 2 C 7/00 (2006.01)	F O 2 C 7/00 F
G O 1 W 1/08 (2006.01)	F O 2 C 7/00 A

請求項の数 11 外国語出願 (全 21 頁) 最終頁に続く

(21) 出願番号	特願2015-155739 (P2015-155739)	(73) 特許権者	500520743
(22) 出願日	平成27年8月6日 (2015.8.6)		ザ・ボーイング・カンパニー
(65) 公開番号	特開2016-38388 (P2016-38388A)		The Boeing Company
(43) 公開日	平成28年3月22日 (2016.3.22)		アメリカ合衆国、60606-2016
審査請求日	平成30年7月3日 (2018.7.3)		イリノイ州、シカゴ、ノース・リバーサイド・プラザ、100
(31) 優先権主張番号	14/454,368	(74) 代理人	110002077
(32) 優先日	平成26年8月7日 (2014.8.7)		園田・小林特許業務法人
(33) 優先権主張国・地域又は機関	米国 (US)	(72) 発明者	グリジック, マシュー エル.
			アメリカ合衆国 イリノイ 60606-1596, シカゴ, ノース リバーサイド プラザ 100

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 氷結晶着氷エンジン事象確率推定の装置、システム、及び方法

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

赤外線衛星データ (54)、数値気象予測データ (56)、及び実際の氷結晶着氷エンジン事象に対応する経験的データ (58) に基づいて、氷結晶着氷エンジン事象の確率を推定する推定モジュール (46)、

氷結晶着氷エンジン事象の前記確率の推定値を示すデータプロダクト (64) を生成するデータプロダクトモジュール (50)、及び

前記データプロダクト (64) を通信する出力モジュール (52) を備える装置。

【請求項 2】

前記赤外線衛星データ (54) が、大気 of 赤外線輝度温度を含み、且つ前記数値気象予測データ (56) が、大気の高さ特定温度及び大気内の可降水量を含む、請求項 1 に記載の装置。

【請求項 3】

前記推定モジュール (46) が、前記大気 of 赤外線輝度温度、大気の高さ特定温度、及び大気内の可降水量とそれぞれの所定の閾値との間の比較を実行し、且つ前記推定モジュール (46) が、前記比較に基づいて氷結晶着氷エンジン事象の前記確率を推定する、請求項 2 に記載の装置。

【請求項 4】

前記それぞれの所定の閾値が、実際の氷結晶着氷エンジン事象に対応する前記経験的デ

10

20

ータ（５８）に基づく、請求項３に記載の装置。

【請求項５】

氷結晶着氷エンジン事象の前記確率が、少なくとも第１氷結晶着氷エンジン事象確率及び第２氷結晶着氷エンジン事象確率のうちの１つとして識別可能であり、前記推定モジュール（４６）が、前記大気の赤外線輝度温度、大気の高さ特定温度、及び大気内の可降水量のうちの任意の１つが、前記それぞれの所定の閾値のうちの対応する１つに合致しない場合、氷結晶着氷エンジン事象の前記確率を前記第２氷結晶着氷エンジン事象確率として推定し、且つ前記大気の赤外線輝度温度、大気の高さ特定温度、及び大気内の可降水量のすべてが前記それぞれの所定の閾値に合致する場合、氷結晶着氷エンジン事象の前記確率を前記第１氷結晶着氷エンジン事象確率として推定する、請求項３又は４に記載の装置。

10

【請求項６】

前記可降水量に対応する前記所定の閾値が、約２５mmと約４５mmの間である、請求項５に記載の装置。

【請求項７】

大気中の少なくとも１つの条件の物理的測定に基づいて、氷結晶着氷エンジン事象の前記確率の正確性を検証する検証モジュール（４８）を更に備える、請求項１又は２に記載の装置。

【請求項８】

前記推定モジュール（４６）が、大気の中で飛行することができる航空機に動力を供給するエンジンの種類に基づいて、氷結晶着氷エンジン事象の前記確率を推定する、請求項１又は２に記載の装置。

20

【請求項９】

航空機（１６）、

赤外線衛星データ、数値気象予測データ、及び少なくとも１つの実際の氷結晶着氷エンジン事象に対応する経験的データに基づいて、氷結晶着氷エンジン事象の確率を推定する推定モジュール（４６）、及び

前記航空機（１６）に氷結晶着氷エンジン事象の前記確率の推定値を通信する出力モジュール（５２）を備えるシステム。

【請求項１０】

30

前記赤外線衛星データが、大気の赤外線輝度温度を含み、且つ前記数値気象予測データが、大気の高さ特定温度及び大気内の可降水量を含む、請求項９に記載のシステム。

【請求項１１】

赤外線衛星データ及び数値気象予測データを獲得すること、

前記赤外線衛星データ及び数値気象予測データをそれぞれの所定の閾値と比較すること、及び

前記赤外線衛星データ及び数値気象予測データと前記それぞれの所定の閾値との間の比較に基づいて、氷結晶着氷事象の確率を推定することを含む方法。

【発明の詳細な説明】

40

【技術分野】

【０００１】

本開示は、概して、大気の状態を特定することに関し、より具体的には、大気中の氷水含有量を特定し、氷結晶着氷エンジン事象（ice crystal icing engine events）の確率を推定することに関する。

【背景技術】

【０００２】

大気中の氷水含有量は、大気中の氷粒子の濃度として定義される。大気の特定の領域は、他の領域よりも氷水含有量がより高い傾向がある。

【０００３】

50

氷水含有量が低い大気領域は、航空機の飛行にとって安全性がより高い場合がある。例えば、氷水含有量が高いと、航空機エンジン内部の氷結晶着氷事象に結び付く場合がある。このような氷結晶着氷エンジン事象は、空気中の氷粒子の集結体が、航空機エンジンに入った後に溶けてエンジンの表面で再氷結するときに起こり、結果としてエンジンの動作特性に影響を与える。より具体的には、氷結晶着氷エンジン事象は、氷河作用を受けた雲粒子又は混合相の雲粒子がエンジン内で融合したとき（例えば、著しい量の過冷却液体を欠いている及び機体の着氷）であると定義することができる。このようなエンジンの内部の事象は、エンジンの劣化を引き起こすことができる。

【発明の概要】

【0004】

本出願の主題は、現在の技術水準に対応して開発されており、具体的には、従来の大気中氷水特定システム及び／又は氷結晶着氷エンジン事象の確率を推定するシステムの欠点に対応して開発されている。このような欠点のうちの1つとしては、従来の大気中氷水特定システムが、高濃度の小粒子氷水含有量、又は高濃度の小粒子氷水を含む大気領域を正確に特定（例えば、予測）又は検出する能力が欠如していることが挙げられる。このような大気領域によって、氷結晶着氷エンジン事象の確率がより高くなる場合がある。搭載レーダなどの広く利用可能な気象及び大気の状態検出システムは、大きな氷粒子を有する氷水の濃度を検出することができるかもしれない。しかしながら、このようなシステムは、小さな氷粒子を有する氷水の濃度を正確に検出しない。

【0005】

任意の気象及び大気の状態検出システムは、実際の氷結晶着氷エンジン事象が、気象及び大気の状態の経験的観察を利用できない熱帯水域の遠隔域にわたって広がる領域などの大気の状態遠隔領域において起こることが多いため、このような事象に関連付けられる経験的観察データに頼ることができない。例えば、地球の遠隔位置では、気象レーダ覆域、気象観測風船、及び地上観察からのデータなどの地上ベースの経験的データが欠ける傾向がある。したがって、高濃度の小粒子氷水含有量の形成を助ける一般的な気象パターン又は大気状態を検出することは難しい。

【0006】

本出願の発明主題は、先行技術の上述の欠点のうちの少なくとも一部を克服する装置、システム、及び方法を提供するために開発された。より具体的には、幾つかの実施形態では、高濃度の小粒子氷水を潜在的に含み、それゆえ氷結晶着氷エンジン事象のより高い確率を示す大気の状態を特定（例えば、推定）するための装置、システム、及び方法が本明細書で説明される。特定の実装形態では、本開示の装置、システム、及び方法は、高濃度の小粒子氷水含有量を有する領域によって引き起こされることが多い氷結晶着氷エンジン事象の確率を推定するために、従来のレーダ検出システムからの氷粒子データに頼らない。むしろ、このような実装形態では、高濃度の小粒子氷水含有量の形成に関連付けられると特定される他のより信頼性の高い大気状態データが利用される。更に、地上ベースの経験的データは、利用可能でない場合があるにも関わらず、いくつかの実装形態では、本開示の装置、システム、及び方法は、氷結晶着氷エンジン事象の確率を推定するために航空機のエンジン内の実際の氷結晶事象に直接関連付けられる及び／又はその間に得られる利用可能な経験的データ（例えば、飛行ベースの経験的データ）を利用する。

【0007】

先行技術に対する上述の改善を考慮すると、幾つかの実施形態では、本開示は、地球規模で（高濃度の小粒子氷水含有量の推定に直接的又は間接的に基づく可能性がある）氷結晶着氷エンジン事象の確率を推定するための気象パターン又は大気状態を確立し、したがって、地球規模で航空機エンジン内の氷結晶着氷事象をもたらす近似リアルタイム状態を特定する。一般的に、本開示によって確立されているように、氷結晶着氷エンジン事象の最も高い確率は、主に大気中の暖かい領域及び湿った領域で見付かるいわゆるメソ規模対流システムなどの対流雲気象システム（convective cloud weather system）に関連付けられる大気状態における飛行中に生じる。多くの変数が

、高濃度の小粒子氷水含有量の大气領域を誘導する対流雲気象システムの形成及び進化に影響を与えうるが、幾つかの変数のみの組み合わせ（例えば、衛星、可降水量データ、及び高さ特定温度データからの赤外線雲頂温度データ（infrared cloud top temperature data））が優位に立ち、したがって、それらの変数のみが、地図上の高濃度の小粒子氷水含有量に関連付けられる氷結晶着氷エンジン事象の高い確率の潜在的領域を特定するのに使用される。

【0008】

これらの領域は、氷結晶着氷エンジン事象の高い確率を表す場合があり、特定の実装形態では、埋め込まれたより高い濃度を有する、約 1 g/m^3 よりも大きい（ 100 nm 又は 100 nm より僅か上の）氷水の小粒子の濃度に関連付けられることができる。エンジン内の氷結晶着氷事象（すなわち、氷結晶着氷エンジン事象）は、より少ない濃度（例えば、約 1 g/m^3 ）の小粒子氷水含有量において、（少なくとも 100 海里などの）長距離にわたる飛行の間に起こることがある。代替的に、氷結晶着氷エンジン事象は、より高い濃度（例えば、約 3 g/m^3 を越える）の小粒子氷水含有量において、（例えば、 100 海里よりも遥かに短い）短距離にわたる飛行の間に起こることがある。或いはもしかしたら、氷結晶着氷エンジン事象は、高い氷水含有量が埋め込まれた領域に伴う、より低い濃度の氷水含有量における長距離にわたる飛行の間に起こりうる。

【0009】

氷結晶着氷エンジン事象の確率が十分に高いことを示す地球の周りの地域を同時に特定することにより、航空機を別の飛行経路に切り替えることが可能になったり、航空路を計画する者が前もって経路を決めることが可能になったりし、このような地域が回避される。

【0010】

1つの実施形態によると、装置は、赤外線衛星データ、数値気象予測データ、及び少なくとも1つの実際の氷結晶着氷エンジン事象に対応する経験的データに基づいて、氷結晶着氷エンジン事象の確率を推定する推定モジュールを備える。この装置は、氷結晶着氷エンジン事象の確率の推定値を示すデータプロダクトを生成するデータプロダクトモジュールを更に含む。更に、この装置は、受信者にデータプロダクトを通信する出力モジュールを含む。

【0011】

この装置の幾つかの実装形態では、赤外線衛星データは、大気の大気赤外線輝度温度を含み、且つ数値気象予測データは、大気の高さ特定温度及び大気内の可降水量を含む。推定モジュールは、大気の大気赤外線輝度温度、大気の高さ特定温度、及び大気内の可降水量とそれぞれの所定の閾値との比較を実行してもよい。推定モジュールは、この比較に基づいて氷結晶着氷エンジン事象の確率を推定することができる。それぞれの所定の閾値は、幾つかの実装形態では、実際の氷結晶着氷エンジン事象に対応する経験的データに基づく。

【0012】

この装置の特定の実装形態によると、氷結晶着氷エンジン事象の確率は、少なくとも第1氷結晶着氷エンジン事象確率及び第2氷結晶着氷エンジン事象確率のうちの1つとして識別可能である。推定モジュールは、大気の大気赤外線輝度温度、大気の高さ特定温度、及び大気内の可降水量のうちの任意の1つが、それぞれの所定の閾値のうちの対応する1つに合致しない場合、氷結晶着氷エンジン事象の確率を第2氷結晶着氷エンジン事象確率として推定する。それとは対照的に、推定モジュールは、大気の大気赤外線輝度温度、大気の高さ特定温度、及び大気内の可降水量のすべてがそれぞれの所定の閾値に合致する場合、氷結晶着氷エンジン事象の確率を第1氷結晶着氷エンジン事象確率として推定する。第1氷結晶着氷エンジン事象確率は、氷結晶着氷エンジン事象のより高い確率に対応することができる、且つ第2氷結晶着氷エンジン事象確率は、氷結晶着氷エンジン事象のより低い確率に対応することができる。赤外線輝度温度に対応する所定の閾値は、幾つかの実装形態では、約 200 K と約 220 K の間であり、特定の実装形態では、約 209 K である。高さ特定温度に対応する所定の閾値は、幾つかの実装形態では、 500 mb で約 $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ と 50

10

20

30

40

50

0 m bで約0℃の間であり、特定の実装形態では、500 m bで約-10℃である。可降水量に対応する所定の閾値は、幾つかの実装形態では、約25 mmと約45 mmの間であり、特定の実装形態では、約35 mmである。

【0013】

幾つかの実装形態では、推定モジュールは、地球上の複数の位置で氷結晶着氷エンジン事象の確率を同時に推定する。この比較は、複数の位置それぞれに対して実行することができる。この装置は、幾つかの実装形態では、大気中の少なくとも1つの条件の物理的測定に基づいて、氷結晶着氷エンジン事象の確率の正確性を検証する検証モジュールを備える。特定の実装形態によると、推定モジュールは、大気の中で飛行することができる航空機に動力を供給するエンジンの種類に基づいて、氷結晶着氷エンジン事象の確率を推定する。

10

【0014】

更に、幾つかの実装形態では、データプロダクトは、電子バイナリデータファイル及び画像ファイルのうちの1つを含む。

【0015】

別の実施形態によると、システムは、航空機、推定モジュール、及び出力モジュールを含む。推定モジュールは、大気の赤外線輝度温度、大気の高さ特定温度、大気内の可降水量、及び少なくとも1つの実際の氷結晶着氷エンジン事象に対応する経験的データに基づいて、氷結晶着氷エンジン事象の確率を推定する。出力モジュールは、航空機に氷結晶着氷エンジン事象の確率の推定値を通信する。幾つかの実装形態では、推定モジュールは、航空機に動力を供給するエンジンの種類に基づいて、氷結晶着氷エンジン事象の確率を推定する。

20

【0016】

更に別の実施形態では、方法は、赤外線衛星データ及び数値気象予測データを獲得することを含む。この方法は、赤外線衛星データ及び数値気象予測データをそれぞれの所定の閾値と比較することを更に含む。更に、この方法は、赤外線衛星データ及び数値気象予測データとそれぞれの所定の閾値との間の比較に基づいて、氷結晶着氷事象の確率を推定することを含む。

【0017】

この方法の幾つかの実装形態では、赤外線衛星データは、赤外線輝度温度データを含み、且つ数値気象予測データは、高さ特定温度データ及び可降水量データを含む。この方法は、赤外線輝度温度データ、高さ特定温度データ、及び可降水量データのそれぞれが、それぞれの所定の閾値に合致するとき、氷結晶着氷事象のより高い確率を示すために氷結晶着氷事象の確率を設定すること、及び赤外線輝度温度データ、高さ特定温度データ、及び可降水量データのうちの少なくとも1つがそれぞれの所定の閾値に合致しないとき、氷結晶着氷事象のより低い確率を示すために氷結晶着氷事象の確率を設定することを更に含んでもよい。特定の実装形態では、赤外線輝度温度データは複数の衛星から獲得され、且つ高さ特定温度データ及び可降水量データは全球数値気象予報モデル(global numerical weather prediction model)から獲得される。

30

40

【0018】

この方法の幾つかの実装形態では、氷結晶着氷事象は、航空機のエンジンの上の氷結晶着氷事象である。この方法の更なる特定の実装形態では、氷結晶着氷事象は、航空機の非エンジン構成要素上の氷結晶着氷事象である。

【0019】

本開示の発明主題の記載された特性、構造、利点、及び／又は特徴は、1つ又は複数の実施形態及び／又は実装形態において、任意の適切な態様で組み合わせることができる。以下の記載では、多数の具体的な詳細事項が、本開示の発明主題の実施形態の完全な理解を与えるために提供される。当業者は、本開示の発明主題が、特定の実施形態又は実装形態の特定の特性、詳細、構成要素、材料、及び／又は方法のうちの1つ又は複数がなくて

50

も実施できることを認識することになる。他の場合において、追加の特性及び利点は、すべての実施形態又は実装形態に存在しないことがある特定の実施形態及び／又は実装形態において認識されてもよい。更に、幾つかの例では、本開示の発明主題の態様が不明瞭になることを回避するために、周知の構造、材料、又は操作が示されず、且つ説明されていない。本開示の発明主題の特性及び利点は、以下の説明及び添付の特許請求の範囲からより完全に明確になり、或いは以下に記載の発明主題の実施によって習得することができる。

【図面の簡単な説明】

【0020】

発明主題の利点をより容易に理解できるように、添付の図面に示される特定の実施形態を参照することによって、以上で詳述された発明主題のより具体的な説明が提供される。これらの図面は、発明主題の典型的な実施形態のみを示すという理解の下、発明主題の範囲を限定するとみなすべきではない。発明主題は、図面を用いて更に特定の且つ詳細に説明される。

【0021】

【図1】1つの実施形態による、氷結晶着氷エンジン事象の確率を推定するためのシステムの概略図である。

【図2】更に別の実施形態による、氷結晶着氷エンジン事象の確率を推定するための装置の概略ブロック図である。

【図3】1つの実施形態による、氷結晶着氷エンジン事象の確率を推定するためのシステムの概略フロー図である。

【図4】1つの実施形態による、氷結晶着氷エンジン事象の確率を推定するための方法の概略フロー図である。

【発明を実施するための形態】

【0022】

明細書中の「1つの実施形態」、「一実施形態」、又は似たような用語による参照は、その実施形態に関連して説明される具体的な特性、構造、又は特徴が、本開示の少なくとも1つの実施形態に含まれることを意味する。本明細書中の「1つの実施形態で」、「一実施形態で」というフレーズの表現、又は似たような用語は、すべて同じ実施形態を参照してもよいが、必ず参照するわけではない。同様に、「実装」という用語を使用することは、本開示の1つ又は複数の実施形態に関連して説明される具体的な特性、構造、又は特徴を有する実装形態は、実装形態が1つ又は複数の実施形態に関連しうることを別途示す明示的な相関関係を欠くことを意味する。

【0023】

図1を参照し、且つ1つの実施形態によると、氷結晶着氷エンジン事象の確率を推定するためのシステム10は、大気条件分析ステーション20を含む。例示される実装形態では、大気条件分析ステーション20は、地上12に位置付けされ、そこに留まる。しかしながら、他の実装形態では、大気条件分析ステーション20は、地上12の上の大気13で飛ばすことができる航空機16などの航空機上に配置することができる。航空機16とは別であるとき、例示される実装形態などでは、大気条件分析ステーション20は、送受信機24を介してなど、任意の様々な通信信号及び技法を介して、航空機に情報を通信し、且つ航空機から情報を受信することができる。

【0024】

システム10は、更に、衛星26、28のうちの少なくとも1つの衛星などの少なくとも1つの衛星から情報を受信する地上12にある衛星情報ステーション21を含む。システムの衛星26、28、34は、大気13の上で地球を周回し、大気13の様々な条件に関するデータを収集する。1つの実装形態によると、衛星26、28によって収集され、且つ受信機22を介して衛星情報ステーション21によって受信された情報は、赤外線衛星画像データを含む。より具体的には、衛星26、28は、大気13の赤外線輝度温度データを収集し、そのデータを衛星情報ステーション21に転送してもよい。赤外線輝度温

度データは、電磁放射技術を通して獲得されたデータ又は画像を含み、これは形成された雲の頂部における大気温度を表す。一般的に、赤外線輝度温度データによって示される温度が低いほど雲の編成はより高くなり、逆に、赤外線輝度温度データによって示される温度が高いほど雲の編成はより低くなる。赤外線輝度温度データを収集するための2つの衛星26、28が示されるが、任意の数の衛星を使用し、データを収集することができる。例えば、1つの実装形態では、赤外線輝度温度データを収集するために5つの衛星が使用される。基本的に、データ収集により多くの衛星が使用されるほど、衛星によってカバーされる大気領域が大きい。最北端及び最南端の地域などの地球の幾つかの領域において氷結晶着氷エンジン事象の確率は低いため、赤外線輝度温度データは、氷結晶着氷エンジン事象の確率がより高い南緯約55度から北緯約55度の間の地球の中間領域などの地球の領域のみをカバーする衛星から収集することができる。

10

【0025】

衛星情報ステーション21は、衛星26、28から受信された赤外線輝度温度データを大気条件分析ステーション20に転送する。1つの実装形態によると、例えば、衛星情報ステーション21は、ウィスコンシン大学マジソン校の宇宙科学工学センター（Space Science and Engineering Center）に関連付けられることができる。赤外線輝度温度データは、当該技術で知られる様々な通信技法及びプロトコルのうちの任意のものを使用して、大気条件分析ステーション20に通信することができる。衛星情報ステーション21は、赤外線輝度温度データを含む電子データファイルを生成し、この電子データファイルは、大気条件分析ステーション20に通信され、大気条件分析ステーション20によって処理される。

20

【0026】

システム10は、数値気象予測データを生成する全地球予報ステーション30を更に含むことができる。数値気象予測データは、1つ又は複数の大気気象条件の予測に関連付けられる情報を含む。幾つかの実装形態では、数値気象予測データは、大気の高さ特定温度及び大気中の可降水量の予測を含む。全地球予報ステーション30は、任意の様々な要因を入力値として受信する気象予報モデルの適用に基づいて、数値予測データを生成することができる。1つの実装形態では、例えば、全地球予報ステーション30は、アメリカ海洋大気庁（NOAA）の国立気候データセンター（National Climatic Data Center）に関連し、気象予報モデルは、国立環境予報センター（National Centers for Environmental Prediction: NOAA）によって生成されることができる。特定の実装形態によると、少なくとも1つの要因が、衛星34などの1つ又は複数の衛星から受信された情報に基づき、受信機32によって収集される。全地球予報ステーション30によって生成される数値気象予測データは、大気条件分析ステーション20に通信し、大気条件分析ステーション20によって処理されることができる。

30

【0027】

大気条件分析ステーション20は、大気の少なくとも1つの領域における氷結晶着氷エンジン事象の確率を推定する装置40を含む。確率の推定は、大気13中の氷水含有量の推定又は予測に少なくとも部分的に基づくことができ、より具体的には、大気中の対流雲14の編成に基づくことができる。一般的に、装置40は、衛星情報ステーション21及び全地球予報ステーション30から受信されたデータ、並びに装置に記憶された実際の氷結晶着氷エンジン事象又は装置によってアクセス可能な実際の氷結晶着氷エンジン事象と対応する経験的データに基づいて、氷結晶着氷エンジン事象のリアルタイム又は近似リアルタイムの推定値を生成する。氷結晶着氷エンジン事象の推定値は、その推定値が航空機エンジン上の氷結晶着氷事象の閾値確率に関連付く場合、送受信機24を介して航空機16に通信することができ、且つ対流雲編成14など高い確率を有する対応領域の周りの航空機を別の飛行経路に切り替えるのに使用することができる。更に、幾つかの実装形態では、航空機16が閾値を越える氷結晶着氷事象の推定確率に関連付けられる雲の編成を通過するにつれて、モニターすることを目的として、情報を航空機のエンジンヘルスマニタ

40

50

ーユニット、航空機の他のシステム、又は航空機以外の受信者に通信することができる。追加的に、又は代替的に、氷結晶着氷エンジン事象の推定値を航空機飛行計画者又はディスパッチシステムに通信し、航空機エンジン上の氷結晶着氷事象の閾値確率に関連付けられる対流雲の編成14を避ける航空機経路を計画することができる。更に、エンジンにおける氷結晶着氷事象の確率を低下させるために氷結晶着氷エンジン事象の閾値確率に関連付けられる雲の編成を避けることにより、非エンジン構成要素における氷結晶着氷事象の確率も低下する。更に、特定の実装形態では、装置40は、航空機の非エンジン構成要素上の氷結晶着氷事象の閾値確率に関連付けられる雲の編成を避けるために、氷結晶着氷非エンジン事態 (ice crystal icing non-engine events) の確率を推定するように構成されてもよい。装置40のモジュールは、以下でより詳細に説明されるように、Linux (登録商標) などの様々なオペレーティングシステムのうちの任意のものを実行するコンピュータマシン上で実行することができる。

10

【0028】

衛星情報ステーション21及び全地球予報ステーション30が、大気条件分析ステーション20から物理的に分離されているように示されているが、一部の実施形態では、衛星情報ステーション及び全地球予報ステーションのうちの1つ又は両方が、大気条件分析ステーションの一部を形成したり、大気条件分析ステーションと一体化することができる。

【0029】

図2を参照すると、1つの実施形態によれば、装置40は、赤外線データモジュール42、数値データモジュール44、氷結晶着氷 (ICI) 推定モジュール46、検証モジュール48、データプロダクトモジュール50、及び出力モジュール52を含む。赤外線データモジュール42は、赤外線データ入力値54を受信し、一部の実施形態では、赤外線データ入力値を異なる形式に変換する。赤外線データ入力値54は、大気に関する衛星から収集されたデータであることができる。幾つかの実装形態では、赤外線データ入力値54は赤外線衛星画像データを含む。赤外線データモジュール42は、赤外線データ入力値54に対応する情報をICI推定モジュール46に通信する。

20

【0030】

赤外線データモジュール42と同様に、数値データモジュール44は、数値データ入力値56を受信し、一部の実施形態では、数値データ入力値を異なる形式に変換する。数値データ入力値56は、大気気象条件の予測に関する、1つ又は複数の衛星及び／又は他のソースから収集されたデータであることができる。幾つかの実装形態では、数値データ入力値56は、大気の高さ特定温度及び大気中の可降水量の予測を含む。数値データ入力値56は、リフティド指数及び対流有効位置エネルギー (convective available potential energy) などの他の大気及び気象条件の予測を更に含んでもよい。数値データモジュール44は、数値データ入力値56に対応する情報をICI推定モジュール46に通信する。

30

【0031】

ICI推定モジュール46は、赤外線データ入力値54及び数値データ入力値56、並びに経験的データ入力値58に関する情報を受信する。赤外線データ情報、数値データ情報、及び経験的データ入力値58に基づいて、ICI推定モジュール46は、大気中の少なくとも1つの領域に対して氷結晶着氷エンジン事象の確率を特定又は推定する。幾つかの実装形態では、ICI推定モジュール46によって生成される氷結晶着氷エンジン事象推定値は、航空機エンジン内の氷結晶着氷事象の推定された確率として表されてもよい。代替的に、又は追加的に、ICI推定モジュール46によって生成される氷結晶着氷エンジン事象推定値は、小粒子氷水の推定された濃度として表すことができる。ICI推定モジュール46は、赤外線データ入力値54及び数値データ入力値56を閾値と比較することができる。赤外線データ入力値54及び数値データ入力値56と閾値との間の比較に基づいて、ICI推定モジュール46は、氷結晶着氷エンジン事象の確率を推定する。この氷結晶着氷エンジン事象の確率は、大気中の予測された氷水含有量に基づいてもよい。閾値は、経験的データ入力値58に基づいて予め設定することができる。この経験的データ

40

50

入力値 58 は、航空機エンジン内で以前起きた実際の氷結晶着氷事象の間に経験的に取得された大気条件及び他の条件に関する情報であることができる。経験的データ入力値 58 の情報は、データベース内に保存し、データベースからアクセスすることができる。更に、閾値は、検証中の航空機に動力を供給するエンジンの種類を含むエンジン種類入力値 60 に基づいて予め設定することができる。例えば、航空機エンジン内の氷結晶着氷事象の確率を推定するとき、氷結晶着氷エンジン事象の確率、及び閾値は、航空機のエンジンの種類に基づいて変動する。

【0032】

検証モジュール 48 は、ICI 推定モジュール 46 によって生成される氷結晶着氷エンジン事象の推定値の正確性を検証する。1 つの実装形態では、検証モジュール 48 は、測定データのソース（図示せず）からの測定データ入力値 62 を受信する。測定データ入力値 62 は、物理的検出手手段を通して取得された大気条件の測定値を含んでもよい。1 つの実装形態では、測定データ入力値 62 は、氷結晶着氷エンジン事象及び／又は大気中の氷水含有量に間接的に関連する大気特定の条件の測定値を含む。更に一部の实装形態では、測定データ入力値 62 は、氷結晶着氷エンジン事象及び／又は大気中の氷水含有量に直接的に関連する条件の測定値を含んでもよい。

【0033】

1 つの実施形態によると、測定データ入力値 62 は、大気領域内の氷結晶着氷エンジン事象の確率を推定するための ICI 推定モジュール 46 によって使用されるプロセスを更新するために使用されてもよい。例えば、氷結晶着氷エンジン事象の確率を推定するために ICI 推定モジュール 46 によって適用される閾値は、少なくとも部分的に測定データ入力値 62 に基づいて更新又は当初計算されてもよい。測定データ入力値 62 は、様々な大気及び気象条件を含むことができる。

【0034】

データプロダクトモジュール 50 は、ICI 推定モジュール 46 の氷結晶着氷エンジン事象の推定に基づくデータプロダクトを生成する。データプロダクトは、氷結晶着氷エンジン事象の推定及び／又は氷水含有量の推定値を示す。幾つかの実装形態では、データプロダクトは、バイナリファイル及び／又は画像ファイルなどの電子データファイルである。したがって、データプロダクトは、ICI 推定モジュール 46 によって生成される氷結晶着氷エンジン事象の推定値及び／又は氷水含有量の推定値の数値的及び／又は視覚的表示を提供することができる。

【0035】

出力モジュール 52 は、様々な受信者のうちの任意の者にデータプロダクト 64 を通信する。データプロダクト 64 は、様々な通信プロトコルのうちの任意のものを使用して、様々なデータ通信ラインのうちの任意のものを介して通信してもよい。例えば、データプロダクト 64 は、空気を伝播して及び／又は陸上通信ケーブルを介して、航空機又は航空機ディスパッチシステムに通信されてもよい。受信者は、次いで、氷結晶着氷エンジン事象の推定された確率が一部の閾値確率に合致し、及び／又は氷水含有量の推定された濃度が一部の閾値濃度に合致する大気領域を回避するために、航空機の経路指定及び／又は経路再指定に関する決定を行うためにデータプロダクト 64 を利用することができる。

【0036】

図 3 を参照すると、大気中の氷結晶着氷エンジン事象の確率を推定するためのシステム 100 の 1 つの実施形態が示される。システム 100 は、システム 10 に類似する。したがって、システム 10 の特性の説明は、システム 100 の類似特性に適用してもよい。例えば、システム 10 の装置 40 のように、システム 100 は、赤外線データモジュール 116、数値データモジュール 122、ICI 推定モジュール 128、及びデータプロダクトモジュール 132 を含み、システム 10 の類似モジュールと似たような態様で動作することができる。

【0037】

システム 100 の赤外線データモジュール 116 は、1 つ又は複数の衛星から衛星デー

10

20

30

40

50

タを受信する。例えば、図示されているように、例示的な実施形態の赤外線データモジュール116は、少なくとも、第1衛星から第1衛星データ110、及び第2衛星から第2衛星データ112を受信する。しかしながら、赤外線データモジュール116は、N番目の衛星からのN番目の衛星データ114によって示されるように、任意の数の衛星から衛星データを受信するように装備されている。衛星データ110、112、114は、地球上の大気のそれぞれの領域に対する赤外線輝度温度などの赤外線衛星画像データであることができる。各衛星は、すべての衛星からの赤外線衛星画像データの組み合わせが地球の実質的な部分（例えば、ほとんどすべての部分）をカバーすることができるように、大気の種々の領域について赤外線衛星画像データを取得する。衛星データ110、112、114は、赤外線データモジュール116による処理のための様々な形式又は電子データファイルのうちの任意のものであることができる。1つの実装形態では、衛星データ110、112、114は、McIDAS AREA（登録商標）形式であり、Abstract Data Distribution Environment（ADDE）などの安全な環境で赤外線データモジュール116に通信される。

10

【0038】

衛星データ110、112、114の形式によって、赤外線データモジュール116は、衛星データを、グリッドファイルにインポートするのに役立つ異なる形式に変換することができる。例えば、赤外線データモジュール116は、McIDAS-X（登録商標）ソフトウェアなどの変換ツールを含むことができる。これは、衛星データ110、112、114からの生のMcIDAS AREAファイルをNetCDF（登録商標）ファイル（例えば、アレイ指向科学データの生成、アクセス、及び共有を支持する機械独立データ形式）に変換する。グリッドファイルは、地理的なグリッドを形成する複数のセクション又はポイントに対する赤外線衛星画像データ値を含む。言い換えると、グリッドファイルは、地理的なグリッドの各々のセクション又はポイントに対する少なくとも1つの赤外線衛星画像データ値を含む。データ値は、2進数又はグラフィカル画像によって表されることができる。1つの実装形態によると、グリッドファイルは、衛星からの衛星データによってカバーされる領域をカバーする地理的な赤外線輝度温度（IBT）グリッド118の各セクションに対する赤外線輝度温度値を含む。IBTグリッド118は、任意の数のセクションを有してもよく、IBTグリッド118の各セクションは、8km×8kmなどの所望の領域をカバーする。セクションの数が多ければ、結果として生じるIBTグリッド118がよりきめ細くなり、以下でより詳細に説明されるように、氷結晶着氷エンジン事象の確率の推定の正確性が潜在的に増す。他の実装形態では、IBTグリッド118の各セクションは、8km×8kmよりも大きくてもよく、又は小さくてもよい。更に、衛星データは、毎時間1回など所望の頻度で赤外線データモジュール116からダウンロードすることができ、又は赤外線データモジュール116で受信することができる。この態様で、IBTグリッド118は、所望の頻度に従って更新することができる。

20

30

【0039】

数値データモジュール122は、全地球予報ステーション30から数値気象予測データを受信する。例示的な実施形態では、数値気象予測データは、NOAAによって生成される全地球予報システム（GFS）データ120である。GFSデータ120は、他の大気条件データの中で、高さ特定温度データ及び可降水量データを含むことができる。更に、GFSデータ120は、地球上の大気のような領域に対する高さ特定温度データ値及び可降水量データ値を含む。GFSデータ120は、数値データモジュール122による処理のための様々な形式又は電子データファイルのうちの任意のものであることができる。1つの実装形態では、GFSデータ120は、GRIB2（登録商標）形式又は他の類似するバイナリ形式である。

40

【0040】

GFSデータ120の形式によって、数値データモジュール122は、GFSデータをそれぞれのグリッドファイルにインポートするのに役立つ種々の形式に変換することができ、或いはそれぞれのグリッドファイルにインポートするためにGFSデータから数値デ

50

ータを抽出することができる。例えば、数値データモジュール122は、GFSデータ120から所望の数値データを抽出する「degrib」Perl（登録商標）スクリプトなどの抽出ツールを含むことができる。GFSデータ120から抽出された所望の数値データは、高さ特定温度及び可降水量に対する数値を含むことができる。したがって、グリッドファイルは、地理的なグリッドを形成する複数のセクション又はポイントに対して、高さ特定温度データ値を有するグリッドファイル、及び可降水量データ値を有するグリッドファイルを含む。言い換えると、各グリッドファイルは、それぞれの地理的なグリッドの各セクション又はポイントに対して、少なくとも1つの高さ特定温度データ値及び少なくとも1つの可降水量データ値のそれぞれのものを含む。データ値は、2進数又はグラフィカル画像によって表されることができる。

10

【0041】

1つの実装形態によると、1つのグリッドファイルは、温度（T）グリッド124の各セクションに対する、500mb（地上から約18、000フィートの高さ）などの所望の高さにおける高さ特定温度データ値を含み、且つ別のグリッドファイルは、可降水量（PW）グリッド126の各セクションに対する、可降水量の大きさなどの可降水量データ値を含む。Tグリッド124及びPWグリッド126はそれぞれ、GFSデータ120によってカバーされている領域をカバーする。更に、Tグリッド124及びPWグリッド126はそれぞれ、任意の数のセクションを有してもよく、グリッドの各セクションは、8km×8kmの領域などの所望の領域をカバーする。セクションの数が多いほど、結果として生じるTグリッド124及びPWグリッド126がよりきめ細くなり、以下でより詳細に説明されるように、氷結晶着氷エンジン事象の確率の推定の正確性が潜在的に増す。他の実装形態では、Tグリッド124及びPWグリッド126の各セクションは、8km×8kmよりも大きくてもよく、又は小さくてもよい。更に、GFSデータ120は、毎日2回など所望の頻度で数値データモジュール122からダウンロードすることができ、或いは数値データモジュール122で受信することができる。この態様で、Tグリッド124及びPWグリッド126は、所望の頻度に従って更新することができる。

20

【0042】

赤外線データモジュール116によって生成されるIBTグリッド118、並びに数値データモジュール122によって生成されるTグリッド124及びPWグリッド126は、ICI推定モジュール128に通信され、ICI推定モジュール128によって受信される。ICI推定モジュール128は、赤外線データモジュール116及び数値データモジュール122によって生成される各グリッドに関連付けられる閾値を決定するために経験的データ146を利用する。例えば、例示的な実施形態では、ICI推定モジュール128は、経験的データ146に基づいて、IBTグリッド118に関連付けられる赤外線輝度温度閾値、Tグリッド124に関連付けられる高さ特定温度閾値、及びPWグリッド126に関連付けられる可降水量閾値を決定する。各グリッドに関連付けられる閾値は、更にエンジン種類142及び測定データ144に基づくことができる。図示されているように、幾つかの実施形態では、ICI推定モジュール128は、エンジン種類142及び測定データ144を受信し、エンジン種類及び測定データに基づいて閾値を決定する。経験的データ146は、航空機エンジン内の実際の氷結晶着氷事象に直接関連付けられる及び／又はその間に取得される、物理的に取得されたデータであることができる。例えば、経験的データ146は、実際の氷結晶着氷エンジン事象の間に取得された大気条件又は他の条件の経験的測定値を含む。幾つかの実装形態では、経験的データ146は、少なくとも150の別々の氷結晶着氷エンジン事象の間に取得されたデータ測定値を含む。

30

40

【0043】

ICI推定モジュール128によって決定された閾値は、様々な大気条件のうちの任意の条件に関連付けることができ、且つ任意の数の要因に基づく様々な値のうちの任意の値を有する。1つの実施形態では、ICI推定モジュール128によって決定された閾値は、赤外線輝度温度閾値、高さ特定温度閾値、及び可降水量閾値を含む。1つの実装形態では、赤外線輝度温度閾値は約209Kであり、他の実装形態では、赤外線輝度温度閾値は

50

、約 200 K と約 220 K の間である。1 つの実装形態では、高さ特定温度閾値は、500 mb で約 -10 °C であり、別の実装形態では、高さ特定温度閾値は、500 mb で約 -20 °C と約 0 °C の間である。更なる 1 つの実装形態によると、可降水量閾値は約 35 mm であり、別の実装形態では、可降水量閾値は、約 25 mm と 45 mm の間である。

【0044】

閾値が決定された後、ICI 推定モジュール 128 は、グリッドの各セクションに対する各値を対応する閾値と個別に比較し、比較の結果に基づいて ICI グリッド 130 を生成する。ICI グリッド 130 は、赤外線データモジュール 116 及び数値データモジュール 122 によって生成されたグリッドのセクションの構成に従って構成されたセクションを有する地理的なグリッドである。より具体的には、幾つかの実装形態では、ICI グリッド 130 は、赤外線データモジュール 116 及び数値データモジュール 122 によって生成されたグリッドと同じ数のセクション及び同じ大きさのセクションを含む。このようにして、ICI グリッド 130 は、赤外線データモジュール 116 及び数値データモジュール 122 によって生成されたグリッドと位置合わせされ、それにより ICI グリッドの各セクションが他のグリッドのそれぞれのセクションに対応する。したがって、ICI グリッド 130 の各セクションは、氷結晶着氷エンジン事象確率、氷水含有量、又は他の類似するデータ値を含み、これらは、赤外線データモジュール 116 及び数値データモジュール 122 によって生成されたグリッドの対応するセクションにおける閾値とデータ値との間の比較の結果に対応する。赤外線データモジュール 116 及び数値データモジュール 122 によって生成されたグリッドが ICI グリッド 130 と位置合わせされない（例えば、似たように構成されたセクションを有しない）幾つかの実装形態では、ICI 推定モジュール 128 は、ICI グリッド 130 を生成するために、最近隣法などの補外技術又は補間技術を使用することができる。

【0045】

ICI 推定モジュール 128 は、空白の ICI グリッド 130 を生成し、ICI グリッドの各セクションに対する IBT グリッド、T グリッド、及び PW グリッドの閾値とデータ値との間の比較を実行する。例えば、1 つの実装形態では、空白の ICW グリッド 130 の各々のセクション又はポイントにおいて、ICI 推定モジュールは、IBT グリッド 118 の同じセクションからの赤外線輝度温度値を赤外線輝度温度閾値と比較し、T グリッド 124 の同じセクションからの高さ特定温度値を高さ特定温度閾値と比較し、且つ PW グリッド 126 の同じセクションからの可降水量値を可降水量閾値と比較する。ICI 推定モジュール 128 は、次に各セクションにそのセクションにおける比較の全体的結果を投入する。

【0046】

ICI 推定モジュール 128 は、比較の全体的な結果を決定するためのルールを設定する。幾つかの実装形態によると、ICI 推定モジュール 128 は、すべての閾値が合致する場合、各セクションに第 1 の結果を投入し、すべての閾値が合致しない場合（例えば、閾値のうちの任意の 1 つが合致しない場合）第 2 の結果を投入する。1 つの実装形態では、ICI 推定モジュール 128 は、すべての閾値が合致する場合、各セクションに第 1 の結果を投入し、閾値の閾値番号（例えば 2 以上）が合致する場合、第 2 の結果を投入し、及び閾値の閾値番号が合致しない場合、第 3 の結果を投入する。セクションには、結果を表す値又は他の表示が投入される。例えば、第 1 の結果は、セクション内で 2 進数「1」によって表されることができ、第 2 の結果は、2 進数「0」によって表されることができ、代替的に、3 つ以上の結果が達成可能な場合、結果は、「0」、「0.5」、及び「1」などの 3 以上の進数のうちの 1 つで表すことができる。様々な値のうちの任意の値を用いる任意のバイナリ番号システムは、比較結果の指定に使用することができることに留意されたい。

【0047】

1 つの実装形態によると、IBT グリッド 118 の同じセクションからの赤外線輝度温度値が赤外線輝度温度閾値と合致（例えば閾値を越える）し、T グリッド 124 の同じセ

クションからの高さ特定温度値が高さ特定温度閾値と合致（例えば閾値を越える）し、且つPWグリッド126の同じセクションからの可降水量値が可降水量閾値と合致（例えば閾値を越える）する場合、ICIグリッド130の各セクションに対して、ICI推定モジュール128は、セクションに第1の値（例えば1）を投入する。それとは対照的に、IBTグリッド118の同じセクションからの赤外線輝度温度値が赤外線輝度温度閾値と合致せず、Tグリッド124の同じセクションからの高さ特定温度値が高さ特定温度閾値と合致せず、或いはPWグリッド126の同じセクションからの可降水量値が可降水量閾値と合致しない場合、ICI推定モジュール128は、セクションに第2の値（例えば0）を投入する。

【0048】

各結果の値は、氷結晶着氷エンジン事象確率値及び／又は氷水含有量値に関連付けられる。したがって、ICIグリッド130は、投入されているとき、地球上の様々な位置における氷結晶着氷エンジン事象確率の推定及び／又は氷水含有量値の数値表現を提供する。一般的に、結果の値は、すべての閾値が合致するとき、氷結晶着氷エンジン事象のより高い確率又はより高い氷水含有量に関連付けられ、或いは、閾値のうちの任意の1つが合致しないとき、氷結晶着氷エンジン事象のより低い確率又はより低い氷水含有量値に関連付けられる。

【0049】

ICIグリッド130内の情報の視認性、互換性、又は有用性を促進するために、データプロダクトモジュール132は、ICIグリッドのバイナリ情報を、ICIグリッド130のバイナリ形式よりも視認性、互換性、又は有用性がより高いプロダクトモジュールに変換する。1つの実装形態では、データプロダクトモジュール132は、ICIグリッド130からデータを抽出し、異なる形式を有するデータプロダクトとして提示するGrADS（登録商標）ソフトウェアなどの変換ツールを含む。例えば、データプロダクトモジュール132は、ICIグリッド130からの「1」及び「0」などのバイナリ表示を、「高い」及び「低い」など、推定された氷結晶着氷エンジン事象確率（又は氷水含有量）に関連付けられる英数表示に変換することができる。別の例としては、データプロダクトモジュール132は、ICIグリッド130からの「1」及び「0」などのバイナリ表示を、例えば、低い確率の氷結晶着氷エンジン事象に対して緑色、及び高い確率の氷結晶着氷エンジン事象に対して赤色など、氷結晶着氷エンジン事象確率（又は氷水含有量）に関連付けられる色別表示に変換してもよい。図示されていないが、ICIグリッド130の値は、データプロダクトモジュール132によって抽出される前に、以上に記載されているように検証されることができる。

【0050】

例示的な実施形態では、データプロダクトモジュール132は、第1データプロダクト134及び第2データプロダクト136を生成する。第1データプロダクト134は、処理用の第1ディスパッチシステム138に通信され、第2データプロダクト136は、処理用の第2ディスパッチシステム140に通信される。1つの実装形態によると、第1データプロダクト134は、PNGファイル又はGIFファイルなどの画像ファイル、或いはElectronic Flight Folder（登録商標）ファイルなどのデータファイルであり、第1ディスパッチシステム138は、航空機への飛行情報（例えば、経路指定情報）の送信を可能にする、MyBoeingFleet（登録商標）などのコンピュータ情報配信及び管理システムである。第1データプロダクト134の画像ファイルは、経時的に保存されている氷結晶着氷エンジン事象確率の推定値に基づいて、雲の動きの表示を含んでもよい。更に、画像ファイルは計画された航空機経路のオーバーレイを含んでもよい。

【0051】

更なる1つの実装形態では、第2データプロダクト136は、GRIB2ファイルなどの簡潔なデータ形式であり、第2ディスパッチシステム140は、Jeppesen（登録商標）によって提供されるような航空機隊管理及び経路指定システムである。2つのデ

10

20

30

40

50

ータプロダクト及び2つのディスパッチシステムが図示されているが、他の実施形態では、任意の数のデータプロダクトが、任意の数のディスパッチシステム又はデータプロダクト内の情報が役立つ可能性のある他のシステムによって通信及び処理されることができる。

【0052】

図4を参照すると、大気中を飛行する航空機に対する氷結晶着氷エンジン事象の確率、又は対応する大気中の氷水含有量を推定するための方法200が示される。方法200は、210において、赤外線輝度温度データなどの赤外線衛星データを獲得することを含む。更に、方法200は、220において、高さ特定温度データ及び可降水量データなどの数値気象予測データを獲得することを含む。特定の実装形態では、赤外線衛星データは複数の衛星から獲得され、且つ数値気象予測データは全球数値気象予報モデルから獲得される。

10

【0053】

方法200は、230において、赤外線輝度温度又は他の赤外線輝度温度データが第1閾値に合致するかどうかを決定することを含む。230における決定が肯定である場合、方法200は、240において、高さ特定温度などの数値気象予測データの第1条件が第2閾値に合致するかどうかを決定することに進む。240における決定が肯定である場合、方法200は、250において、可降水量などの数値気象予測データの第2条件が第3閾値に合致するかどうかを決定する。250における決定が肯定である場合、方法200は、260において氷結晶着氷エンジン事象の確率の推定を、「高い」などの第1確率に設定することへと進み、方法は終了する。しかしながら、230、240、及び250における任意の決定が否定である場合、方法200は、270において氷結晶着氷エンジン事象の確率の推定を、「低い」などの第2確率に設定することへと進み、方法は終了する。代替的な実施形態では、方法200は、260において氷水含有量状態を「高い」などの第1状態に設定してもよく、且つ270において氷水含有量状態を「低い」などの第2状態に設定してもよい。

20

【0054】

以上の説明では、「上」、「下」、「上部」、「下部」、「水平」、「垂直」、「左」、「右」、「～の上」、「～の下」などの特定の用語が使用されてもよい。適用可能である場合、これらの用語は、相対的關係を扱うときに記載されていることを幾らか明瞭するために使用される。しかしながら、これらの用語は、絶対的關係、位置、及び／又は配向を示唆することを意図していない。例えば、ある物体に関しては、「上部」の表面は、物体を単純にひっくり返すことによって、「下部」の表面になることができる。それにも関わらず、それは同じ物体であることには変わらない。更に、「含む」、「備える」、「有する」、及びこれらの変化形といった用語は、他に明確に特定されていない限り、「含むが、これらに限定されない」ことを意味する。他に明確に特定されていない限り、アイテムの列挙リストによって、アイテムのうちの任意のもの又はすべてが、互いに排他的である、及び／又は互いに包括的であることが示唆されているわけではない。冠詞（「a」、「an」、及び「the」）は、他に明確に特定されていない限り、更に「1つ又は複数の」指す。更に「複数」という用語は、「少なくとも2つ」と定義することができる。

30

40

【0055】

更に、本明細書内の例である要素が他の要素に「連結」されている場合、これは直接的な連結及び間接的な連結を含むことができる。直接的な連結とは、ある要素が別の要素に連結され、且つ何らかの接触状態にあると定義することができる。間接的な連結とは、互いに直接的に接触していないが、連結要素間に1つ又は複数の追加要素を有する、2つの要素間の連結と定義することができる。更に、本明細書で使用されているように、1つの要素を他の要素に固定することは、直接的な固定及び間接的な固定を含むことができる。更に、本明細書で使用されているように、「隣接」は必ずしも接触を意味しない。例えば、ある要素は、別の要素と接触せずにその別の要素に隣接することができる。

【0056】

50

本書において、列挙されたアイテムと共に使用される「～のうち少なくとも1つ」という表現は、列挙されたアイテムのうち一又は複数の種々の組み合わせが使用可能であり、且つ、列挙されたアイテムのうち1つだけあればよいということを意味する。アイテムとは、特定の対象物、物品、又はカテゴリのことであってもよい。すなわち、「～のうち少なくとも1つ」は、アイテムの任意の組み合わせ、又はいくつかのアイテムが列挙から使用されうるが、列挙されたアイテムの全てが必要なわけではないことを意味する。例えば、「アイテムA、アイテムB、及びアイテムCのうちの少なくとも1つ」は、例えば、「アイテムA」、「アイテムAとアイテムB」、「アイテムB」、「アイテムAとアイテムBとアイテムC」、又は「アイテムBとアイテムC」を意味し得る。幾つかの場合には、「アイテムA、アイテムB、及びアイテムCのうちの少なくとも1つ」は、例えば、限定するものではないが、「2個のアイテムAと1個のアイテムBと10個のアイテムC」、「4個のアイテムBと7個のアイテムC」、又は他の好適な組み合わせを意味しうる。

10

【0057】

本明細書に記載の多くの機能ユニットは、実装の単独性をより具体的に強調するためにモジュールと呼ばれている。例えば、モジュールは、カスタムVLSI回路やゲートアレイ、或いは、論理チップ、トランジスタ、又はその他の個別部品などの既製の半導体素子を含むハードウェア回路として実装してもよい。モジュールは、フィールドプログラマブルゲートアレイ、プログラマブルアレイ論理、プログラマブル論理デバイスなどのプログラム可能なハードウェアデバイス内に更に実装されてもよい。

20

【0058】

モジュールは、更に、様々な種類のプロセッサによる実行のためのソフトウェア内に実装されてもよい。コンピュータ可読プログラムコードの識別されたモジュールは、例えば、コンピュータ指令の1つ又は複数の物理的ブロック又は論理的ブロックを含んでもよく、例えば、オブジェクト、手順、又は機能として編成されてもよい。それにも関わらず、識別されたモジュールの実行可能なプログラムは、物理的に同じ場所に位置する必要はなく、種々の位置に保存される異なる指令を含んでもよく、これらは論理的に組み合わせられたときに、モジュールを含み、モジュールの提示された目的を達成する。

【0059】

実際に、コンピュータで読取可能なプログラムコードのモジュールは、単一の指令又は多くの指令であってもよく、幾つかの異なるコードセグメントにわたって、異なるプログラムの間で、及び幾つかのメモリデバイスにわたって分配されてもよい。同様に、モジュール内の動作的数据は、識別され、本明細書で例示してもよく、任意の適切な形態で具現化されてもよく、任意の適切な種類のデータ構造内で編成されてもよい。動作的数据は、単一のデータセットとして収集されてもよく、又は異なるストレージデバイスを含めて、異なる位置にわたって分配されてもよく、且つ少なくとも部分的に単にシステム又はネットワーク上の電子信号として存在してもよい。モジュール又はモジュールの一部がソフトウェア内に実装されるとき、コンピュータで読取可能なプログラムコードは、1つ又は複数のコンピュータで読取可能な媒体上で保存及び／又は伝搬されてもよい。

30

【0060】

コンピュータで読取可能な媒体は、コンピュータで読取可能なプログラムコードを記憶する有形のコンピュータで読取可能な記憶媒体であってもよい。コンピュータで読取可能な記憶媒体は、例えば非限定的に、電気、磁気、光学、電磁気、赤外線、ホログラフィック、マイクロメカニカル、又は半導体のシステム、装置、又はデバイス、或いは上記の任意の好適な組み合わせであってもよい。

40

【0061】

コンピュータで読取可能な記憶媒体のより具体的な実施例は、例えば非限定的に、携帯コンピュータフロッピーディスク、ハードディスク、ランダムアクセスメモリ(RAM)、読取専用メモリ(ROM)、消去可能プログラマブル読取専用メモリ(EPROM又はフラッシュメモリ)、携帯コンパクトディスク読取専用メモリ(CD-ROM)、デジタル多用途ディスク(DVD)、光学式ストレージデバイス、磁気ストレージデバイス、ホ

50

ログラフィックストレージ媒体、マイクロメカニカルストレージデバイス、又は上記の任意の適切な組み合わせを含んでもよい。本文書の文脈では、コンピュータで読取可能な記憶媒体は、命令実行システム、装置、又はデバイスによって使用される、及び／又はそれに接続されて使用されるコンピュータで読取可能なプログラムコードを格納及び／又は記憶することができる任意の有形の媒体であってもよい。

【0062】

コンピュータで読取可能な媒体は、更にコンピュータで読取可能な信号媒体であってもよい。コンピュータで読取可能な信号媒体は、例えば、ベースバンドにおいて又は搬送波の一部として、コンピュータで読取可能なプログラムコードが具現化された伝播データ信号を含んでもよい。このような伝播信号は、非限定的に、電気、電磁気、磁気、光、又はそれらの任意の適切な組み合わせを含む任意の様々な形態であってもよい。コンピュータで読取可能な信号媒体は、コンピュータで読取可能な記憶媒体ではなく、命令実行システム、装置、又はデバイスによって使用される、或いはそれに接続されて使用されるコンピュータで読取可能なプログラムコードを通信、伝播、又は運搬することができる任意のコンピュータで読取可能な媒体であってもよい。コンピュータで読取可能な信号媒体上に具現化されたコンピュータで読取可能なプログラムコードは、無線、有線、光ファイバケーブル、無線周波数（RF）等、又は上記の任意の適切な組み合わせを非限定的に含む任意の適切な媒体を使用して伝送されてもよい。

【0063】

1つの実施形態では、コンピュータで読取可能な媒体は、1つ又は複数のコンピュータで読取可能な記憶媒体及び1つ又は複数のコンピュータで読取可能な信号媒体の組み合わせを含んでもよい。例えば、コンピュータで読取可能なプログラムコードは、プロセッサによる実行のために光ファイバケーブルを介して電磁信号として伝搬されてもよく、及びプロセッサによる実行のためにRAM記憶装置上に記憶されてもよい。

【0064】

本発明の態様の動作を実施するためのコンピュータで読取可能なプログラムコードは、Java、Smalltalk、C++などのオブジェクト指向のプログラミング言語、及び「C」プログラミング言語又は類似のプログラミング言語（例えばLabView）などの従来の手続き型プログラミング言語を含む一又は複数のプログラミング言語の任意の組み合わせで書かれてもよい。コンピュータで読取可能なプログラムコードは、完全にユーザのコンピュータ上で、部分的にユーザのコンピュータ上で実行されることができ、独立型ソフトウェアパッケージとしては、部分的にユーザのコンピュータ上で、及び部分的にリモートコンピュータ上で、又は完全にリモートコンピュータ又はサーバ上で実行されることができる。後者のシナリオでは、リモートコンピュータは、ローカルエリアネットワーク（LAN）又はワイドエリアネットワーク（WAN）を含む任意の種類のネットワークを通してユーザのコンピュータに接続されてもよく、或いは、接続を（例えば、インターネットサービスプロバイダを使用するインターネットを通して）外部コンピュータに対して行うことができる。

【0065】

本明細書に含まれる概略フローチャート図は、一般的に論理的フローチャート図として提示される。このようにして、示された順序及び表示されたステップは、提示された方法の1つの実施形態を示す。図示された方法の1つ又は複数のステップ、或いはそれらの部分に対して、機能、論理、又は効果において同等である他のステップ及び方法を着想してもよい。更に、使用される形式及び記号は、方法の論理ステップを説明するために提供され、方法の範囲を限定しないと理解される。様々な矢印の種類及び線の種類が、フローチャート図において使用されうるが、対応する方法の範囲を限定しないと理解される。実際に、幾つかの矢印又は他の結合子が方法の論理フローのみを示すために使用されてもよい。例えば、矢印は、示された方法の列挙されたステップの間の不特定持続時間の待機期間又はモニター期間を示してもよい。更に、特定の方法が発生する順序は、示される対応ステップの順序に厳密に従ってもよく、又は従わなくてもよい。

【0066】

本発明主題は、その精神又は本質的特質から逸脱せずに、他の特定の形態で具現化されてもよい。記載の実施形態は、あらゆる点で、例示的であるとだけみなすべきであり、限定的であるときみなすべきではない。特許請求の範囲の均等の意味及び範囲の中にあるすべてに変更は、その範囲内で包含されるべきである。

【0067】

以下の段落は、本発明の更なる態様を説明している。

【0068】

A1 赤外線衛星データ (54)、数値気象予測データ (56)、及び実際の氷結晶着氷エンジン事象に対応する経験的データ (58)に基づいて、氷結晶着氷エンジン事象の確率を推定する推定モジュール (46)、

10

氷結晶着氷エンジン事象の前記確率の推定値を示すデータプロダクト (64) を生成するデータプロダクトモジュール (50)、及び

前記データプロダクト (64) を通信する出力モジュール (52) を備える装置。

【0069】

A2 前記赤外線衛星データ (54) が、大気の赤外線輝度温度を含み、且つ前記数値気象予測データ (56) が、大気の高さ特定温度及び大気内の可降水量を含む、段落A1に記載の装置。

【0070】

20

A3 前記推定モジュール (46) が、前記大気の赤外線輝度温度、大気の高さ特定温度、及び大気内の可降水量とそれぞれの所定の閾値との間の比較を実行し、且つ前記推定モジュール (46) が、前記比較に基づいて氷結晶着氷エンジン事象の前記確率を推定する、段落A2に記載の装置。

【0071】

A4 前記それぞれの所定の閾値が、実際の氷結晶着氷エンジン事象に対応する前記経験的データ (58) に基づく、段落A3に記載の装置。

【0072】

A5 氷結晶着氷エンジン事象の前記確率が、少なくとも第1氷結晶着氷エンジン事象確率及び第2氷結晶着氷エンジン事象確率のうちの1つとして識別可能であり、前記推定モジュール (46) が、前記大気の前記赤外線輝度温度、大気の高さ特定温度、及び大気内の可降水量のうちの任意の1つが、前記それぞれの所定の閾値のうちの対応する1つに合致しない場合、氷結晶着氷エンジン事象の前記確率を前記第2氷結晶着氷エンジン事象確率として推定し、且つ前記大気の前記赤外線輝度温度、大気の高さ特定温度、及び大気内の可降水量のすべてが前記それぞれの所定の閾値に合致する場合、氷結晶着氷エンジン事象の前記確率を前記第1氷結晶着氷エンジン事象確率として推定する、段落A3又はA4に記載の装置。

30

【0073】

A6 前記第1氷結晶着氷エンジン事象確率が氷結晶着氷エンジン事象のより高い確率に対応し、且つ前記第2氷結晶着氷エンジン事象確率が氷結晶着氷エンジン事象のより低い確率に対応する、段落A5に記載の装置。

40

【0074】

A7 前記赤外線輝度温度に対応する前記所定の閾値が、約200 Kと約220 Kの間である、段落A5又はA6に記載の装置。

【0075】

A8 前記赤外線輝度温度に対応する前記所定の閾値が約209 Kである、段落A7に記載の装置。

【0076】

A9 前記高さ特定温度に対応する前記所定の閾値が、500 mbで約-20 °Cと500 mbで約0 °Cの間である、段落A5又はA6に記載の装置。

50

【0077】

A10 前記高さ特定温度に対応する前記所定の閾値が500mbで約-10℃である、段落A9に記載の装置。

【0078】

A11 前記可降水量に対応する前記所定の閾値が、約25mmと約45mmの間である、段落A5、A6、又はA9のいずれか一項に記載の装置。

【0079】

A12 前記可降水量に対応する前記所定の閾値が約35mmである、段落A11に記載の装置。

【0080】

A13 前記推定モジュール(46)が、地球上の複数の位置で氷結晶着氷エンジン事象の前記確率を同時に推定する、段落A1又はA2に記載の装置。

【0081】

A14 大気中の少なくとも1つの条件の物理的測定に基づいて、氷結晶着氷エンジン事象の前記確率の正確性を検証する検証モジュール(48)を更に備える、段落A1、A2、又はA13のいずれか一項に記載の装置。

【0082】

A15 前記推定モジュール(46)が、前記大気の中で飛行することができる航空機に動力を供給するエンジンの種類に基づいて、氷結晶着氷エンジン事象の前記確率を推定する、段落A1、A2、A13、又はA14のいずれか一項に記載の装置。

【0083】

A16 前記データプロダクトが、電子バイナリデータファイル及び画像ファイルのうちの1つを含む(64)、段落A1、A2、又はA13からA15のいずれか一項に記載の装置。

【0084】

B1 航空機(16)、
大気の赤外線輝度温度、大気の高さ特定温度、大気内の可降水量、及び少なくとも1つの実際の氷結晶着氷エンジン事象に対応する経験的データに基づいて、氷結晶着氷エンジン事象の確率を推定する推定モジュール(46)、及び

前記航空機(16)に氷結晶着氷エンジン事象の前記確率の前記推定値を通信する出力モジュール(52)を備えるシステム。

【0085】

B2 前記推定モジュール(46)が、前記航空機に動力を供給するエンジンの種類に基づいて、氷結晶着氷エンジン事象の前記確率を推定する、段落B1に記載のシステム。

【0086】

C1 赤外線衛星データ及び数値気象予測データを獲得すること、
前記赤外線衛星データ及び数値気象予測データをそれぞれの所定の閾値と比較すること、及び

前記赤外線衛星データ及び数値気象予測データと前記それぞれの所定の閾値との間の比較に基づいて、氷結晶着氷事象の確率を推定することを含む方法。

【0087】

C2 前記赤外線衛星データが赤外線輝度温度データを含み、且つ前記数値気象予測データが高さ特定温度データ及び可降水量データを含む、段落C1に記載の方法。

【0088】

C3 赤外線輝度温度データ、高さ特定温度データ、及び可降水量データのそれぞれが、それぞれの所定の閾値に合致するとき、氷結晶着氷事象のより高い確率を示すために氷結晶着氷事象の前記確率を設定すること、及び前記赤外線輝度温度データ、高さ特定温度データ、及び可降水量データのうちの少なくとも1つが前記それぞれの所定の閾値に合致

10

20

30

40

50

しないとき、氷結晶着氷事象のより低い確率を示す氷結晶着氷事象の前記確率を設定することを更に含む、段落 C 2 に記載の方法。

【0089】

C 4 前記赤外線輝度温度データが複数の衛星から獲得され、且つ前記高さ特定温度データ及び可降水量データが全球数値気象予報モデルから獲得される、段落 C 2 又は C 3 に記載の方法。

【0090】

C 5 前記氷結晶着氷事象が航空機のエンジンの上の氷結晶着氷事象を含む、段落 C 2 又は C 3 に記載の方法。

【0091】

10

C 6 前記氷結晶着氷事象が航空機の前エンジン構成要素の上の氷結晶着氷事象を含む、段落 C 2、C 3、又は C 5 に記載の方法。

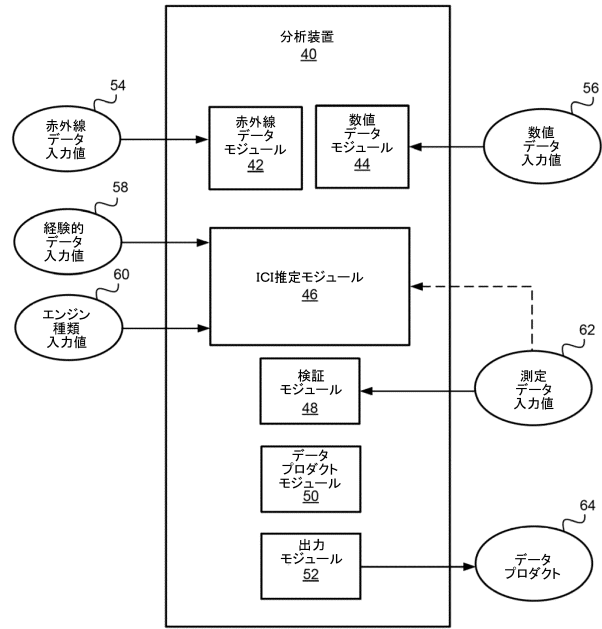
【符号の説明】

【0092】

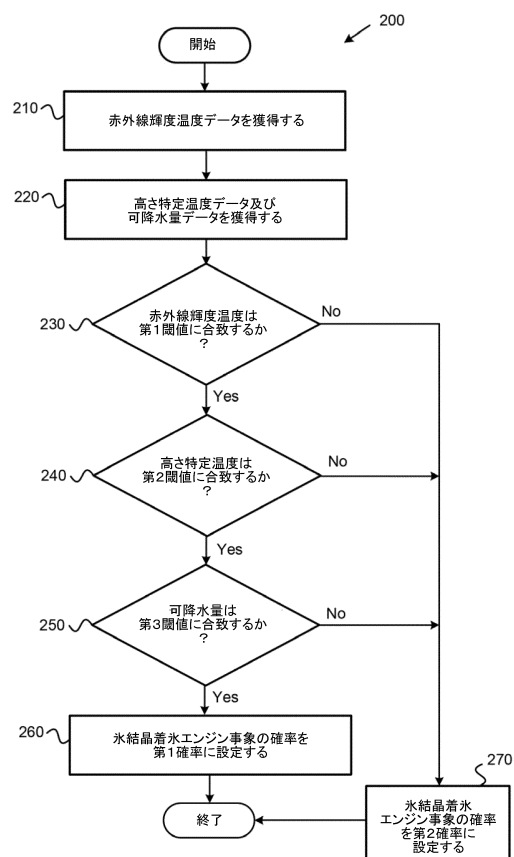
- 10 氷結晶着氷エンジン事象の確率を推定するためのシステム
- 12 地上
- 13 大気
- 14 対流雲編成
- 16 航空機
- 20 大気条件分析ステーション
- 21 衛星情報ステーション
- 22 受信機
- 24 送受信機
- 26 衛星
- 28 衛星
- 30 全地球予報ステーション
- 32 受信機
- 34 衛星
- 40 装置

20

【図 2】



【图 4】



フロントページの続き

(51)Int.Cl. F I
B 6 4 D 15/20 (2006.01) G 0 1 W 1/08 P
B 6 4 D 15/20

(72)発明者 メイソン, ジャンヌ ジー.
アメリカ合衆国 イリノイ 6 0 6 0 6 - 1 5 9 6, シカゴ, ノース リバーサイド プラザ
1 0 0

(72)発明者 パトノー, マイケル
アメリカ合衆国 イリノイ 6 0 6 0 6 - 1 5 9 6, シカゴ, ノース リバーサイド プラザ
1 0 0

審査官 素川 慎司

(56)参考文献 特表平05-506628 (JP, A)
特表2013-520615 (JP, A)
特表2013-525195 (JP, A)
特開平07-294469 (JP, A)
特開平11-281741 (JP, A)
特開2010-241412 (JP, A)
特開2013-256286 (JP, A)
米国特許出願公開第2012/0191350 (US, A1)
米国特許出願公開第2013/0120166 (US, A1)
米国特許出願公開第2013/0234884 (US, A1)
米国特許第04379227 (US, A)
米国特許第05602543 (US, A)
中国特許第101865668 (CN, B)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)
G 0 1 W 1/00 - 1/18
B 6 4 D 1/00 - 47/08
B 6 4 F 1/00 - 5/60
F 0 2 C 7/00 - 7/36