

(19)日本国特許庁(JP)

(12)特許公報(B2)

(11)特許番号
特許第7226376号
(P7226376)

(45)発行日 令和5年2月21日(2023.2.21)

(24)登録日 令和5年2月13日(2023.2.13)

(51)国際特許分類			F I		
H 0 2 P	29/00	(2016.01)	H 0 2 P	29/00	
G 0 5 B	23/02	(2006.01)	G 0 5 B	23/02	3 0 2 Z
B 6 4 D	27/24	(2006.01)	B 6 4 D	27/24	
B 6 4 C	27/08	(2023.01)	B 6 4 C	27/08	
			G 0 5 B	23/02	T
請求項の数 11 (全25頁)					
(21)出願番号 特願2020-40584(P2020-40584)			(73)特許権者 000004260		
(22)出願日 令和2年3月10日(2020.3.10)			株式会社デンソー		
(65)公開番号 特開2021-144266(P2021-144266 A)			愛知県刈谷市昭和町1丁目1番地		
(43)公開日 令和3年9月24日(2021.9.24)			(74)代理人 110000028		
審査請求日 令和4年3月29日(2022.3.29)			弁理士法人明成国際特許事務所		
			(72)発明者 川津 信介		
			愛知県刈谷市昭和町1丁目1番地 株式		
			会社デンソー内		
			審査官 三島木 英宏		

(54)【発明の名称】 異常診断システム

(57)【特許請求の範囲】

【請求項1】

移動体（20）に搭載されて前記移動体の移動に用いられるモータ（11）を駆動させる電駆動システム（10）の異常診断を行う異常診断システム（120）であって、

前記モータの出力状態に関連する情報であるモータ出力関連情報を取得する情報取得部（121）と、

前記モータの出力状態が、前記移動体の移動に寄与しない低出力状態であるか否かを、前記モータ出力関連情報を利用して判定する出力状態判定部（122）と、

前記低出力状態であると判定された場合に、前記電駆動システムの異常診断を行う診断実行部（123）と、

を備え、

前記移動体は、複数の前記電駆動システムを備え、

前記出力状態判定部は、複数の前記電駆動システムが駆動させる複数の前記モータについてそれぞれ前記低出力状態であるか否かを判定し、

前記診断実行部は、複数の前記モータのうち、一部のモータの出力状態が前記低出力状態であると判定された場合に、前記低出力状態であると判定された前記モータを駆動させる前記電駆動システムを対象として前記異常診断を行う、異常診断システム。

【請求項2】

移動体（20）に搭載されて前記移動体の移動に用いられるモータ（11）を駆動させる電駆動システム（10）の異常診断を行う異常診断システム（120）であって、

前記モータの出力状態に関連する情報であるモータ出力関連情報を取得する情報取得部（１２１）と、

前記モータの出力状態が、前記移動体の移動に寄与しない低出力状態であるか否かを、前記モータ出力関連情報を利用して判定する出力状態判定部（１２２）と、

前記低出力状態であると判定された場合に、前記電駆動システムの異常診断を行う診断実行部（１２３）と、

を備え、

前記移動体は、複数の前記モータと、複数の前記モータをそれぞれ駆動させる複数の前記電駆動システムと、複数の前記モータによりそれぞれ回転駆動される複数の回転翼（３０）と、を有する電動航空機（２０）である、異常診断システム。

10

【請求項３】

請求項２に記載の異常診断システムにおいて、

前記電動航空機は、複数の前記電駆動システムを制御する統合制御部（１１０）を、さらに有し、

前記複数の回転翼は、浮上用回転翼（３１ａ～３１ｇ）と推進用回転翼（３２ａ～３２ｂ）との少なくとも２種類の回転翼を含み、

前記統合制御部は、前記電動航空機の駆動力のモードを、前記モータの駆動により前記電動航空機の垂直方向の昇降を実現する第１駆動モードと、前記モータの駆動により前記電動航空機の水平方向の推進を実現する第２駆動モードと、を含む複数の駆動モードのうちの少なくとも１つとなるように、複数の前記電駆動システムを制御し、

20

前記情報取得部は、前記モータ出力関連情報として、前記駆動モードを取得し、

前記出力状態判定部は、

前記駆動力のモードが前記第１駆動モードのみである場合に、前記推進用回転翼に対応する前記モータの出力状態が前記低出力状態であると判定し、

前記駆動力のモードが前記第２駆動モードのみである場合に、前記浮上用回転翼に対応する前記モータの出力状態が前記低出力状態であると判定する、異常診断システム。

【請求項４】

請求項３に記載の異常診断システムにおいて、

前記出力状態判定部は、前記駆動力のモードが前記第１駆動モードと前記第２駆動モードとのいずれも含まない場合に、複数の前記モータのそれぞれについて前記低出力状態であると判定する、異常診断システム。

30

【請求項５】

移動体（２０）に搭載されて前記移動体の移動に用いられるモータ（１１）を駆動させる電駆動システム（１０）の異常診断を行う異常診断システム（１２０）であって、

前記モータの出力状態に関連する情報であるモータ出力関連情報を取得する情報取得部（１２１）と、

前記モータの出力状態が、前記移動体の移動に寄与しない低出力状態であるか否かを、前記モータ出力関連情報を利用して判定する出力状態判定部（１２２）と、

前記低出力状態であると判定された場合に、前記電駆動システムの異常診断を行う診断実行部（１２３）と、

40

を備え、

前記移動体は、複数の前記モータと、複数の前記モータをそれぞれ駆動させる複数の前記電駆動システムと、複数の前記モータによりそれぞれ回転駆動される複数の回転翼と、複数の前記電駆動システムを制御する統合制御部と、を有する電動航空機であり、

前記情報取得部は、前記モータ出力関連情報として、前記統合制御部から複数の前記電駆動システムにそれぞれ送信される駆動指令を取得し、

前記出力状態判定部は、取得された前記駆動指令が、前記出力状態が前記低出力状態となるように前記モータを駆動させる指示である場合に、前記低出力状態であると判定する、異常診断システム。

【請求項６】

50

請求項 1 から請求項 5 までのいずれか一項に記載の異常診断システムにおいて、
前記移動体は、複数の前記電駆動システムを備え、
前記出力状態判定部は、複数の前記電駆動システムが駆動させる複数の前記モータについてそれぞれ前記低出力状態であるか否かを判定し、
前記診断実行部は、前記出力状態が前記低出力状態であると判定された前記モータが複数存在する場合に、複数の前記モータを駆動させる複数の前記電駆動システムを対象として同時に前記異常診断を行う、異常診断システム。

【請求項 7】

移動体 (2 0) に搭載されて前記移動体の移動に用いられるモータ (1 1) を駆動させる電駆動システム (1 0) の異常診断を行う異常診断システム (1 2 0) であって、
前記モータの出力状態に関連する情報であるモータ出力関連情報を取得する情報取得部 (1 2 1) と、
前記モータの出力状態が、前記移動体の移動に寄与しない低出力状態であるか否かを、前記モータ出力関連情報を利用して判定する出力状態判定部 (1 2 2) と、
前記低出力状態であると判定された場合に、前記電駆動システムの異常診断を行う診断実行部 (1 2 3) と、
を備え、

前記移動体は、複数の前記電駆動システムを備え、
前記出力状態判定部は、複数の前記電駆動システムが駆動させる複数の前記モータについてそれぞれ前記低出力状態であるか否かを判定し、
前記診断実行部は、前記出力状態が前記低出力状態であると判定された前記モータが複数存在する場合に、各前記モータが前記低出力状態から前記移動体の移動に寄与する状態に変化する再稼動予定時期と、各前記モータを駆動させる前記電駆動システムが異常である場合の影響の大きさと、各前記モータを駆動させる前記電駆動システムについての前記異常診断の履歴と、のうちの少なくとも 1 つに基づき前記異常診断の実行順序を決定する、異常診断システム。

【請求項 8】

請求項 7 に記載の異常診断システムにおいて、
前記出力状態が前記低出力状態であると判定された複数の前記モータについて、それぞれ前記モータの前記再稼動予定時期を特定する再稼動予定時期特定部 (1 2 4) を、さらに備え、
前記診断実行部は、前記再稼動予定時期が早い前記モータを駆動させる前記電駆動システムを、前記再稼動予定時期が遅い前記モータを駆動させる前記電駆動システムに比べて、より早い順序で前記異常診断を行う、異常診断システム。

【請求項 9】

請求項 7 に記載の異常診断システムにおいて、
前記移動体は、複数の前記モータと、複数の前記モータをそれぞれ駆動させる複数の前記電駆動システムと、複数の前記モータによりそれぞれ回転駆動される複数の回転翼と、を有する電動航空機であり、
前記複数の回転翼は、浮上用回転翼と推進用回転翼との少なくとも 2 種類の回転翼を含み、
前記診断実行部は、前記浮上用回転翼に対応する前記電駆動システムを、前記推進用回転翼に対応する前記電駆動システムに比べて、より早い順序で前記異常診断を行う、異常診断システム。

【請求項 10】

請求項 7 に記載の異常診断システムにおいて、
前記移動体は、複数の前記モータと、複数の前記モータをそれぞれ駆動させる複数の前記電駆動システムと、複数の前記モータによりそれぞれ回転駆動される複数の回転翼と、を有する電動航空機であり、
前記複数の回転翼は、複数の浮上用回転翼を含み、

10

20

30

40

50

前記診断実行部は、前記複数の浮上用回転翼のうち、前記電動航空機の機体重心からの距離が相対的に長い位置の前記浮上用回転翼に対応する前記電駆動システムを、前記機体重心からの距離が相対的に短い位置の前記浮上用回転翼に対応する前記電駆動システムに比べて、より早い順序で前記異常診断を行う、異常診断システム。

【請求項 1 1】

請求項 1 から請求項 1 0 までのいずれか一項に記載の異常診断システムにおいて、

前記診断実行部は、前記異常診断の対象の前記電駆動システムに、前記モータの出力が前記移動体の移動に寄与しない程度の出力となるように前記モータに通電させて前記異常診断を行う、異常診断システム。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0 0 0 1】

本開示は、電駆動システムの異常診断を行う異常診断システムに関する。

【背景技術】

【0 0 0 2】

近年、航空機や車両や船舶等の移動体の電動化に伴い、モータを駆動させる電駆動システム（E D S : Electric Drive System）が移動体に搭載されて用いられている。例えば、モータとインバータ回路とを有する電駆動システムが、e V T O L（electric Vertical Take-Off and Landing aircraft）等の電動航空機の回転翼や、船舶のスクリューや、車両や電車の車輪を回転駆動させるために搭載される場合がある。このような電駆動システムにおいても、従来と同様に、例えば、特許文献 1 に記載のモータの故障診断のような異常診断を行うことが望まれる。特許文献 1 では、モータやインバータ回路が稼動時に故障の発生を検出し、また、その発生箇所を特定する。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0 0 0 3】

【文献】特開 2 0 0 5 - 4 9 1 7 8 号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0 0 0 4】

特許文献 1 では、モータやインバータ回路を含む電駆動システムが稼動中において異常を検出していた。しかし、電駆動システムが稼動中である場合には発見することが困難である異常も存在し得る。例えば、電駆動システムがモータのトルクや回転数等を検出するセンサを備える構成においては、かかるセンサのオフセット異常は、電駆動システムの稼動中には発見することが困難である。また、安全機構（フェイルセーフ）の正常性確認試験は、異常発生に相当する特定の条件が満たされないと行うことができず、また、かかる条件を電駆動システムの稼働中に故意に満たすように制御すると、移動体の移動動作に及ぼす影響が非常に大きいという問題がある。このような問題は、電駆動システムがモータを有する構成に限らず、電駆動システムがモータを有さず、モータとは別体である構成においても共通する。このため、移動体の移動動作への影響を抑えて電駆動システムの異常診断を実行可能な技術が望まれる。

【課題を解決するための手段】

【0 0 0 5】

本開示の一形態として、移動体（2 0）に搭載されて前記移動体の移動に用いられるモータ（1 1）を駆動させる電駆動システム（1 0）の異常診断を行う異常診断システム（1 2 0）が提供される。この異常診断システムは、前記モータの出力状態に関連する情報であるモータ出力関連情報を取得する情報取得部（1 2 1）と、前記モータの出力状態が、前記移動体の移動に寄与しない低出力状態であるか否かを、前記モータ出力関連情報を利用して判定する出力状態判定部（1 2 2）と、前記低出力状態であると判定された場合に、前記電駆動システムの異常診断を行う診断実行部（1 2 3）と、を備え、前記移動体

10

20

30

40

50

は、複数の前記電駆動システムを備え、前記出力状態判定部は、複数の前記電駆動システムが駆動させる複数の前記モータについてそれぞれ前記低出力状態であるか否かを判定し、前記診断実行部は、複数の前記モータのうち、一部のモータの出力状態が前記低出力状態であると判定された場合に、前記低出力状態であると判定された前記モータを駆動させる前記電駆動システムを対象として前記異常診断を行う。

本開示の他の形態として、移動体（２０）に搭載されて前記移動体の移動に用いられるモータ（１１）を駆動させる電駆動システム（１０）の異常診断を行う異常診断システム（１２０）が提供される。この異常診断システムは、前記モータの出力状態に関連する情報であるモータ出力関連情報を取得する情報取得部（１２１）と、前記モータの出力状態が、前記移動体の移動に寄与しない低出力状態であるか否かを、前記モータ出力関連情報を利用して判定する出力状態判定部（１２２）と、前記低出力状態であると判定された場合に、前記電駆動システムの異常診断を行う診断実行部（１２３）と、を備え、前記移動体は、複数の前記モータと、複数の前記モータをそれぞれ駆動させる複数の前記電駆動システムと、複数の前記モータによりそれぞれ回転駆動される複数の回転翼（３０）と、を有する電動航空機（２０）である。

10

本開示の他の形態として、移動体（２０）に搭載されて前記移動体の移動に用いられるモータ（１１）を駆動させる電駆動システム（１０）の異常診断を行う異常診断システム（１２０）が提供される。この異常診断システムは、前記モータの出力状態に関連する情報であるモータ出力関連情報を取得する情報取得部（１２１）と、前記モータの出力状態が、前記移動体の移動に寄与しない低出力状態であるか否かを、前記モータ出力関連情報を利用して判定する出力状態判定部（１２２）と、前記低出力状態であると判定された場合に、前記電駆動システムの異常診断を行う診断実行部（１２３）と、を備え、前記移動体は、複数の前記モータと、複数の前記モータをそれぞれ駆動させる複数の前記電駆動システムと、複数の前記モータによりそれぞれ回転駆動される複数の回転翼と、複数の前記電駆動システムを制御する統合制御部と、を有する電動航空機であり、前記情報取得部は、前記モータ出力関連情報として、前記統合制御部から複数の前記電駆動システムにそれぞれ送信される駆動指令を取得し、前記出力状態判定部は、取得された前記駆動指令が、前記出力状態が前記低出力状態となるように前記モータを駆動させる指示である場合に、前記低出力状態であると判定する。

20

本開示の他の形態として、移動体（２０）に搭載されて前記移動体の移動に用いられるモータ（１１）を駆動させる電駆動システム（１０）の異常診断を行う異常診断システム（１２０）が提供される。この異常診断システムは、前記モータの出力状態に関連する情報であるモータ出力関連情報を取得する情報取得部（１２１）と、前記モータの出力状態が、前記移動体の移動に寄与しない低出力状態であるか否かを、前記モータ出力関連情報を利用して判定する出力状態判定部（１２２）と、前記低出力状態であると判定された場合に、前記電駆動システムの異常診断を行う診断実行部（１２３）と、を備え、前記移動体は、複数の前記電駆動システムを備え、前記出力状態判定部は、複数の前記電駆動システムが駆動させる複数の前記モータについてそれぞれ前記低出力状態であるか否かを判定し、前記診断実行部は、前記出力状態が前記低出力状態であると判定された前記モータが複数存在する場合に、各前記モータが前記低出力状態から前記移動体の移動に寄与する状態に変化する再稼働予定時期と、各前記モータを駆動させる前記電駆動システムが異常である場合の影響の大きさと、各前記モータを駆動させる前記電駆動システムについての前記異常診断の履歴と、のうちの少なくとも１つに基づき前記異常診断の実行順序を決定する。

30

40

【０００６】

この形態の異常診断システムによれば、モータの出力状態が移動体の移動に寄与しない低出力状態であると判定された場合に電駆動システムの異常診断を行うので、移動体の移動動作への影響を抑えて電駆動システムの異常診断を行うことができる。

【０００７】

本開示は、種々の形態で実現することも可能である。例えば、電駆動システムを搭載す

50

る移動体、電動航空機、車両、船舶、電駆動システムの異常診断方法、これらの装置や方法を実現するためのコンピュータプログラム、かかるコンピュータプログラムを記録した一時的でない記録媒体等の形態で実現することができる。

【図面の簡単な説明】

【0008】

【図1】本開示の一実施形態としての電動駆動システムを適用した電動航空機の構成を模式的に示す上面図である。

【図2】EDSの機能的構成を示すブロック図である。

【図3】機体の動作の種類に応じた移動方向、駆動力、および各モータの稼働状態を示す説明図である。

【図4】第1実施形態における異常診断処理の手順を示すフローチャートである。

【図5】第1実施形態における低出力状態処理の手順を示すフローチャートである。

【図6】第1実施形態における診断順序特定処理の手順を示すフローチャートである。

【図7】第1実施形態における診断処理の手順を示すフローチャートである。

【図8】第1実施形態における診断処理の手順を示すフローチャートである。

【図9】第2実施形態における低出力状態処理の手順を示すフローチャートである。

【図10】第3実施形態における低出力状態処理の手順を示すフローチャートである。

【図11】第4実施形態における低出力状態処理の手順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】

【0009】

A. 第1実施形態：

A1. 装置構成：

図1に示す電動航空機20は、eVTOL (electric Vertical Take-Off and Landing aircraft) とも呼ばれ、鉛直方向に離着陸可能であり、また、水平方向への推進が可能な有人航空機である。電動航空機20は、機体21と、9つの回転翼30と、各回転翼に対応して配置されている9つの電駆動システム10（以下、「EDS (Electric Drive System) 10」とも呼ぶ）とを備える。

【0010】

機体21は、電動航空機20において9つの回転翼30およびEDS10を除いた部分に相当する。機体21は、本体部22と、主翼25と、尾翼28とを備える。

【0011】

本体部22は、電動航空機20の胴体部分を構成する。本体部22は、機体軸AXを対象軸として左右対称の構成を有する。本実施形態において、「機体軸AX」とは、電動航空機20の重心位置CMを通り、電動航空機20の前後方向に沿った軸を意味している。また、「重心位置CM」とは、乗員が搭乗していない空虚重量時における電動航空機20の重心位置を意味する。本体部22の内部には、図示しない乗員室が形成されている。

【0012】

主翼25は、右翼26と左翼27とにより構成されている。右翼26は、本体部22から右方向に延びて形成されている。左翼27は、本体部22から左方向に延びて形成されている。右翼26と左翼27とには、それぞれ回転翼30とEDS10とが1つずつ配置されている。尾翼28は、本体部22の後端部に形成されている。

【0013】

9つの回転翼30のうちの5つは、本体部22の上面の中央部に配置されている。これら5つの回転翼30は、主に機体21の揚力を得るための浮上用回転翼31a~31eとして機能する。浮上用回転翼31aは、重心位置CMに対応する位置に配置されている。浮上用回転翼31bと浮上用回転翼31cは、浮上用回転翼31aよりも前方において、機体軸AXを中心として互いに線対称の位置に配置されている。浮上用回転翼31dと浮上用回転翼31eは、浮上用回転翼31aよりも後方において、機体軸AXを中心として互いに線対称の位置に配置されている。9つの回転翼30のうちの2つは、右翼26および左翼27に配置されている。具体的には、右翼26の先端部の上面に浮上用回転翼31

10

20

30

40

50

f が配置され、左翼 27 の先端部の上面に浮上用回転翼 31g が配置されている。

【0014】

9つの回転翼30のうちの2つは、右翼26および左翼27にそれぞれ配置され、主に機体21の水平方向の推進力を得るための推進用回転翼32a、32bとして機能する。右翼26に配置された推進用回転翼32aと、左翼27に配置された推進用回転翼32bは、機体軸AXを中心として互いに線対称の位置に配置されている。各回転翼30は、それぞれの回転軸（後述のシャフト18）を中心として、互いに独立して回転駆動される。各回転翼30は、互いに等角度間隔で配置された3つのブレードをそれぞれ有する。

【0015】

図2に示すように、EDS10は、モータ11と、インバータ回路12と、制御部13と、電圧センサ14と、電流センサ15と、回転センサ16と、記憶装置17と、シャフト18を備える。

【0016】

モータ11は、シャフト18を介して回転翼30を回転駆動させる。モータ11は、本実施形態では3相交流ブラシレスモータにより構成され、インバータ回路12から供給される電圧および電流に応じてシャフト18を回転させる。なお、モータ11は、ブラシレスモータに代えて、誘導モータやリラクタンスモータ等の任意の種類のモータにより構成されていてもよい。

【0017】

インバータ回路12は、IGBT (Insulated Gate Bipolar Transistor) やMOSFET (Metal-Oxide-Semiconductor Field-Effect Transistor) 等のパワー素子を有し、制御部13から供給される制御信号に応じたデューティ比でスイッチングすることにより、モータ11に駆動電力を供給する。制御部13は、後述する飛行制御装置100と電氣的に接続されており、飛行制御装置100からの指令に応じてインバータ回路12に制御信号を供給する。

【0018】

制御部13は、EDS10を全体制御する。具体的には、制御部13は、後述する統合制御部110からの指示に応じて駆動信号を生成し、かかる駆動信号をインバータ回路12に供給する。また、制御部13は、各センサ14～16の検出値を用いてインバータ回路12をフィードバック制御する。本実施形態において、制御部13は、CPU、ROM、RAMを有するマイクロコンピュータにより構成されている。

【0019】

電圧センサ14は、後述の電源70から供給される電圧を検出する。電流センサ15は、インバータ回路12とモータ11との間に設けられており、モータ11の各相の駆動電流（相電流）を検出する。回転センサ16は、モータ11の回転数を検出する。電圧センサ14、電流センサ15および回転センサ16の検出値は、記憶装置17に時系列に記憶されると共に、制御部13を介して飛行制御装置100へと出力される。記憶装置17には、各種制御プログラムや、各種センサの検出値に加えて、後述の診断処理の結果や、ユーザにより実行される異常診断結果の履歴（以下、「診断履歴」と呼ぶ）が記録されている。

【0020】

EDS10の制御モードとして、起動モード、RUNモード、終了モード、待機モード、異常モード、異常診断モードが予め設定されている。起動モードは、電源オン直後の動作モードであり、各センサ14～16の正常性チェック等が行われる。RUNモードは、モータ11を駆動する動作モードである。RUNモードには、さらに、モータ11出力を制限するパワーセーブモードが含まれている。終了モードは、EDS10の電源がオフされる際の動作モードである。待機モードとは、電源がオンしており、駆動指示を待機し、モータ11を駆動していない動作モードである。異常モードとは、EDS10が異常であると診断された後の動作モードである。異常診断モードとは、EDS10の動作を診断する際の動作モードであり、後述の異常診断処理とは別に、ユーザが手動でEDS10の動

10

20

30

40

50

作確認を行う場合に設定される動作モードである。上述のこれらの制御モードは、統合制御部 110 からの指令に従って設定される、或いは、ユーザにより手動で設定される。また、これらの動作モードは、互いに重複して設定され得る。例えば、EDS10 の温度が閾値温度以上の温度異常が生じた場合、異常モードが設定されると共に、パワーセーブモードが設定され得る。

【0021】

図2に示すように、電動航空機20には、各EDS10を制御するため、或いは、各EDS10の異常診断を行うための様々な構成要素が搭載されている。具体的には、電動航空機20には、飛行制御装置100と、センサ群40と、ユーザインターフェイス部50(「UI部」50と呼ぶ)と、通信装置60と、電源70とを備える。

10

【0022】

飛行制御装置100は、電動航空機20を全体制御する。飛行制御装置100は、CPU、RAMおよびROMを有するコンピュータとして構成されている。飛行制御装置100が有するCPUは、ROMに予め記憶されている制御プログラムをRAMに展開して実行することにより、統合制御部110および異常診断システム120として機能する。

【0023】

統合制御部110は、飛行プログラムに従って、或いは、乗員の操縦に従って、電動航空機20の駆動力のモードを設定する。電動航空機20の駆動力のモードとして、第1駆動モード、第2駆動モード、および第3駆動モードが予め用意されている。第1駆動モードは、モータ11の駆動により電動航空機20の垂直方向の昇降を実現するモードである。第2駆動モードは、モータ11の駆動により電動航空機20の水平方向の推進を実現するモードである。第3駆動モードは、上述の昇降および推進のいずれも実現しないモードである。この駆動力のモードは、単独でも設定され得るし、第1および第2駆動モードについては、組み合わせて設定され得る。

20

【0024】

図3に示すように、例えば、飛行プログラムにおいて、機体の動作として「離着陸」を実行する際には、機体の移動方向は鉛直方向となり、このとき、統合制御部110は、電動航空機20の駆動力のモードを第1駆動モードに設定する。また、このとき、統合制御部110は、浮上用回転翼31a~31gに対応するEDS10に対して、モータ11を駆動させるように指示し、推進用回転翼32a~32bに対応するEDS10に対しては、モータ11を駆動させないように指示する。その結果、浮上用回転翼31a~31gに対応するモータ11(以下、「浮上用モータ」とも呼ぶ)は、稼働し、推進用回転翼32a~32bに対応するモータ11(以下、「推進用モータ」とも呼ぶ)は、休止する。

30

【0025】

また、機体の動作として「水平移動A」を実行する際には、機体の移動方向は鉛直方向および水平方向となり、このとき、統合制御部110は、電動航空機20の駆動力のモードを、第1駆動モードと第2駆動モードの組み合わせに設定する。「水平移動A」には、水平方向に移動し且つ上昇する動作、水平方向に移動し且つ高度を維持する動作、および、水平方向に移動し且つ降下する動作が含まれる。例えば、電動航空機20の水平方向の速度が低いために、高度を維持するためにモータ11の駆動による浮力が必要とされ、浮上用モータを駆動させる動作が含まれる。このとき、統合制御部110は、浮上用回転翼31a~31gと、推進用回転翼32a~32bに対応するすべてのEDS10に対して、モータ11を駆動させるように指示する。その結果、浮上用モータおよび推進用モータのいずれも稼働することとなる。

40

【0026】

また、機体の動作としての「水平移動B」は、浮上用モータを休止させる点においてのみ上述の水平移動Aと異なる。つまり、統合制御部110は、電動航空機20の駆動力のモードを第2駆動モードのみに設定する。「水平移動B」には、水平移動Aと同様に、水平方向に移動し且つ上昇する動作、水平方向に移動し且つ高度を維持する動作、および、水平方向に移動し且つ降下する動作が含まれる。例えば、電動航空機20の速度が高いた

50

めモータ１１の駆動による浮力が必要とせず水平方向に移動する動作、または、滑空する動作や、高度を維持せず自然に降下しつつ水平方向に移動する動作などが含まれる。このような動作時、統合制御部１１０は、浮上用回転翼３１ａ～３１ｇに対応するＥＤＳ１０に対して、モータ１１を駆動させないように指示し、推進用回転翼３２ａ～３２ｂに対応するＥＤＳ１０に対しては、モータ１１を駆動させるように指示する。その結果、浮上用モータは休止し、推進用モータは稼働する。

【００２７】

また、機体の動作として「ホバリング」を実行する際には、機体の移動方向は、無い。このとき、統合制御部１１０は、離着陸の際と同様に、電動航空機２０の駆動力のモードを第１駆動モードのみに設定し、浮上用回転翼３１ａ～３１ｇに対応するＥＤＳ１０に対して、モータ１１を駆動させるように指示し、推進用回転翼３２ａ～３２ｂに対応するＥＤＳ１０に対しては、モータ１１を駆動させないように指示する。その結果、浮上用モータは稼働し、推進用モータは休止する。

【００２８】

また、機体の動作として「地上待機」を実行する際には、機体の移動方向はもちろん無い。このとき、統合制御部１１０は、電動航空機２０の駆動力のモードを第３駆動モードに設定し、すべてのＥＤＳ１０に対して、モータ１１を駆動させないように指示する。その結果、浮上用モータおよび推進用モータは、いずれも休止する。

【００２９】

ここで、統合制御部１１０から各ＥＤＳ１０に対して送信される指令には、モータ１１の目標トルクおよび目標回転数が指令値として含まれている。各ＥＤＳ１０において、制御部１３は、統合制御部１１０からかかる指令値を受信すると、ＥＤＳ１０の制御モードを設定すると共に、モータ１１の出力トルクおよび回転数が目標トルクおよび目標回転数に近づくように、インバータ回路１２に対して制御信号を出力する。このとき、制御部１３は、各センサ１４、１５、１６および図示しないトルクセンサの各検出値を利用してフィードバック制御を行ってインバータ回路１２を制御する。

【００３０】

異常診断システム１２０は、後述の異常診断処理を実行することにより、各ＥＤＳ１０が異常であるか正常であるかの診断（以下、「異常診断」と呼ぶ）を行う。異常診断システム１２０は、情報取得部１２１と、出力状態判定部１２２と、診断実行部１２３と、再稼働予定時期特定部１２４として機能する。情報取得部１２１は、モータ出力関連情報を取得する。モータ出力関連情報とは、モータ１１の出力に関連する情報を意味する。本実施形態では、モータ出力関連情報は、電動航空機２０の駆動力のモードを意味する。上述のように、電動航空機２０の駆動力のモード（第１ないし第３駆動モード）は、モータ１１の出力と相関しているため、かかるモードは、モータ１１の出力と関連する情報といえる。出力状態判定部１２２は、各モータ１１の出力状態が低出力状態であるか否かを判定する。本実施形態において、「低出力状態」とは、モータ１１の出力が電動航空機２０の昇降や推進等の移動に寄与しない程度である状態を意味する。したがって、例えば、モータ１１の出力（トルクおよび回転数）がゼロである場合に限らず、ゼロよりも大きい場合も含み得る。診断実行部１２３は、後述の診断処理を実行することにより、各ＥＤＳ１０が異常であるか又は正常であるかを判定する。再稼働予定時期特定部１２４は、低出力状態であるモータ１１が低出力状態でなくなることが予定される時期、すなわち、電動航空機２０の移動に寄与する出力を開始する予定時期（「再稼働予定時期」と呼ぶ）を特定する。再稼働予定時期の特定方法の詳細については後述する。

【００３１】

センサ群４０は、高度センサ４１、位置センサ４２、速度センサ４３、姿勢センサ４４を含む。高度センサ４１は、電動航空機２０の現在の高度を検出する。位置センサ４２は、電動航空機２０の現在位置を緯度および経度として特定する。本実施形態において、位置センサ４２は、ＧＮＳＳ（Global Navigation Satellite System）により構成されている。ＧＮＳＳとしては、例えば、ＧＰＳ（Global Positioning System）を用いてもよ

10

20

30

40

50

い。速度センサ 4 3 は、電動航空機 2 0 の速度を検出する。姿勢センサ 4 4 は、機体 2 1 の姿勢を検出する。本実施形態において、姿勢センサ 4 4 は、三軸センサにより構成された複数の加速度センサからなり、機体 2 1 のティルト方向およびロール方向の姿勢を特定する。

【 0 0 3 2 】

UI 部 5 0 は、電動航空機 2 0 の乗員に対し、電動航空機 2 0 の制御用および動作状態のモニタ用のユーザインターフェイスを供給する。ユーザインターフェイスとしては、例えば、キーボードやボタンなどの操作入力部や、液晶パネルなどの表示部などが含まれる。UI 部 5 0 は、例えば、電動航空機 2 0 のコクピットに設けられている。乗組員は、UI 部 5 0 を用いて、電動航空機 2 0 の動作モードの変更や、各 E D S 1 0 の動作試験を実行できる。

10

【 0 0 3 3 】

通信装置 6 0 は、他の電動航空機や、地上の管制塔などと通信を行う。通信装置 6 0 としては、例えば、民間用 V H F 無線機などが該当する。なお、通信装置 6 0 は、民間用 V H F 以外にも、I E E E 8 0 2 . 1 1 において規定されている無線 L A N や、I E E E 8 0 2 . 3 において規定されている有線 L A N などの通信を行う装置として構成されてもよい。電源 7 0 は、リチウムイオン電池により構成され、電動航空機 2 0 における電力供給源の 1 つとして機能する。電源 7 0 は、各 E D S 1 0 のインバータ回路 1 2 を介してモータ 1 1 に三相交流電力を供給する。なお、電源 7 0 は、リチウムイオン電池に代えて、ニッケル水素電池等の任意の二次電池により構成されていてもよく、二次電池に代えて、または二次電池に加えて、燃料電池や発電機等の任意の電力供給源により構成されてもよい。

20

【 0 0 3 4 】

A 2 . 異常診断処理 :

図 4 に示す異常診断処理は、各 E D S 1 0 が異常であるか又は正常であるかを判定する処理である。異常診断システム 1 2 0 は、飛行制御装置 1 0 0 の電源がオンすると、異常診断処理を実行する。

【 0 0 3 5 】

情報取得部 1 2 1 および出力状態判定部 1 2 2 は、各 E D S 1 0 が低出力状態であるか否かの判定 (以下、「低出力状態判定」と呼ぶ) を実行する (ステップ S 1 0 5) 。図 5 に示すように、情報取得部 1 2 1 は、電動航空機 2 0 の駆動力のモードを特定する (ステップ S 2 0 5) 。上述のように、本実施形態では、モータ出力関連情報は、電動航空機 2 0 の動作モードである。情報取得部 1 2 1 は、統合制御部 1 1 0 に問い合わせることにより、電動航空機 2 0 の駆動力のモードを取得する。

30

【 0 0 3 6 】

出力状態判定部 1 2 2 は、特定されたモードが第 3 駆動モードであるか否か、すなわち、電動航空機 2 0 の昇降および推進のいずれも実現しないモードであるか否かを判定する (ステップ S 2 1 0) 。第 3 駆動モードであると判定された場合 (ステップ S 2 1 0 : Y E S) 、出力状態判定部 1 2 2 は、各モータ 1 1 について低出力状態であると判定する (ステップ S 2 1 5) 。電動航空機 2 0 の動作モードが第 3 動作モードである場合には、各モータ 1 1 は休止しているからである。

40

【 0 0 3 7 】

第 3 駆動モードではないと判定された場合 (ステップ S 2 1 0 : N O) 、出力状態判定部 1 2 2 は、電動航空機 2 0 の駆動力のモードが第 1 駆動モードのみであるか否かを判定する (ステップ S 2 2 0) 。

【 0 0 3 8 】

電動航空機 2 0 の駆動力のモードが第 1 駆動モードであると判定された場合 (ステップ S 2 2 0 : Y E S) 、出力状態判定部 1 2 2 は、推進用回転翼 3 2 a 、 3 2 b に対応するモータ 1 1 について、低出力状態であると判定する (ステップ S 2 3 0) 。図 3 を用いて先に説明したとおり、第 1 駆動モードのみの場合とは、すなわち、機体の動作が「離着陸」の場合であり、推進用回転翼 3 2 a 、 3 2 b は駆動しておらず、その出力は、電動航空

50

機 2 0 の移動（昇降）に寄与しない。したがって、本実施形態では、この場合、推進用回転翼 3 2 a、3 2 b に対応するモータ 1 1（推進用モータ）については、低出力状態であると判定するようにしている。

【 0 0 3 9 】

電動航空機 2 0 の駆動力のモードが第 1 動作モードのみでないと判定された場合（ステップ S 2 2 0 : N O）、出力状態判定部 1 2 2 は、電動航空機 2 0 の駆動力のモードが第 2 動作モードのみであるか否かを判定する（ステップ S 2 2 5）。

【 0 0 4 0 】

電動航空機 2 0 の駆動力のモードが第 2 駆動モードのみであると判定された場合（ステップ S 2 2 5 : Y E S）、出力状態判定部 1 2 2 は、浮上用回転翼 3 1 a ~ 3 1 g 対応するモータ 1 1 について、低出力状態であると判定する（ステップ S 2 3 5）。図 3 を用いて先に説明したとおり、第 2 駆動モードのみの場合とは、すなわち、機体の動作が「水平移動 B」であり、浮上用回転翼 3 1 a ~ 3 1 g は駆動しておらず、その出力は、電動航空機 2 0 の移動（水平方向の推進）に寄与しない。したがって、本実施形態では、この場合、浮上用回転翼 3 1 a ~ 3 1 g に対応するモータ 1 1（浮上用モータ）については、低出力状態であると判定するようにしている。

10

【 0 0 4 1 】

電動航空機 2 0 の駆動力のモードが第 2 駆動モードのみでないと判定された場合（ステップ S 2 2 5 : N O）、出力状態判定部 1 2 2 は、各モータ 1 1 について、低出力状態ではないと判定する（ステップ S 2 4 0）。この場合、機体の動作が、図 3 に示す「水平移動 A」であり、すべての回転翼 3 1 が駆動している。したがって、この場合、いずれのモータ 1 1 についても低出力状態ではないと判定するようにしている。上述のステップ S 2 1 5、ステップ S 2 3 0、S 2 3 5 および S 2 4 0 の完了後、図 4 に示すステップ S 1 1 0 が実行される。

20

【 0 0 4 2 】

診断実行部 1 2 3 は、ステップ S 1 0 5 の結果、低出力状態のモータ 1 1 があるか否かを判定する（ステップ S 1 1 0）。低出力状態のモータ 1 1 がないと判定された場合（ステップ S 1 1 0 : N O）、処理は上述のステップ S 1 0 5 に戻る。これに対して、低出力状態のモータ 1 1 があると判定された場合（ステップ S 1 1 0 : Y E S）、診断実行部 1 2 3 は、診断順序特定処理を実行する（ステップ S 1 1 5）。診断順序特定処理とは、異常診断を行う順序を特定する処理を意味する。

30

【 0 0 4 3 】

図 6 に示すように、診断実行部 1 2 3 は、低出力状態のモータ 1 1 は複数か否かを判定する（ステップ S 3 0 5）。低出力状態のモータ 1 1 は複数ではないと判定された場合（ステップ S 3 0 5 : N O）、該当の単一のモータ 1 1 のみが診断対象となるので、診断順序を決めることなく、診断順序特定処理は完了する。

【 0 0 4 4 】

低出力状態のモータ 1 1 は複数であると判定された場合（ステップ S 3 0 5 : Y E S）、再稼働予定時期特定部 1 2 4 は、低出力状態の各モータ 1 1 の再稼働予定時期を特定する（ステップ S 3 1 0）。本実施形態において、再稼働予定時期特定部 1 2 4 は、予め設定される飛行プログラムに基づき再稼働時期を特定する。例えば、電動航空機 2 0 が水平方向に推進中であり、浮上用回転翼 3 0 a ~ 3 0 e においてモータ 1 1 が低出力状態である場合に、飛行プログラムに基づき、電動航空機 2 0 が次に上昇動作又は下降動作を行う予定時期を特定し、かかる予定時期を、浮上用回転翼 3 0 a ~ 3 0 e の再稼働予定時期であると特定する。また、例えば、電動航空機 2 0 が始動モードであり、全てのモータ 1 1 が低出力状態であると判定されている場合においても、飛行プログラムに基づき、電動航空機 2 0 が上昇動作を行う予定時期を特定し、かかる予定時期を、浮上用回転翼 3 0 a ~ 3 0 e の再稼働予定時期であると特定する。

40

【 0 0 4 5 】

診断実行部 1 2 3 は、再稼働予定時期のより早いモータ 1 1 を有する E D S 1 0 に対し

50

てより大きな優先値を付与する（ステップ S 3 1 5）。これは、再稼動予定時期のより早い E D S 1 0 に対しより早く異常診断を行うことにより、再稼動前に異常を発見する可能性を高めるためである。また、再稼動時に異常診断が完了しないことを抑制するためである。なお、このステップ S 3 1 5、および後述のステップ S 3 2 0 ~ S 3 3 0 で付与される優先値は、互いに独立した値として設定される。

【 0 0 4 6 】

診断実行部 1 2 3 は、浮上用回転翼 3 1 a ~ 3 1 g に対応する E D S 1 0 に対し、推進用回転翼 3 2 a ~ 3 2 b に対応する E D S 1 0 よりも大きな優先値を付与する（ステップ S 3 2 0）。例えば、全てのモータ 1 1 が低出力状態と判定され、飛行プログラムから全てのモータ 1 1 が近々再稼動の予定である場合、浮上用回転翼 3 1 a ~ 3 1 g に対応する E D S 1 0 に対し、推進用回転翼 3 2 a ~ 3 2 b に対応する E D S 1 0 よりも大きな優先度を付与する。電動航空機 2 0 の飛行中に推進用回転翼 3 2 a ~ 3 2 b に対応する E D S 1 0 に異常が生じた場合でも、電動航空機 2 0 の落下には直接的に結び付かないのに対して、浮上用回転翼 3 1 a ~ 3 1 g に対応する E D S 1 0 に異常が生じた場合には、電動航空機 2 0 の落下の可能性が高まる。このため、浮上用回転翼 3 1 a ~ 3 1 g に対応する E D S 1 0 が異常である場合の影響は、推進用回転翼 3 2 a ~ 3 2 b に対応する E D S 1 0 が異常である場合の影響に比べて大きい。そこで、本実施形態では、浮上用回転翼 3 1 a ~ 3 1 g に対応する E D S 1 0 を対象として、推進用回転翼 3 2 a ~ 3 2 b に対応する E D S 1 0 よりも早く異常診断を行うことにより、異常発生時の影響がより大きな浮上用回転翼 3 1 a ~ 3 1 g に対応する E D S 1 0 の異常を、再稼動前に発見する可能性を高めるようにしている。

【 0 0 4 7 】

診断実行部 1 2 3 は、浮上用回転翼 3 1 a ~ 3 1 g に対応する E D S 1 0 のうち、重心位置 C M からより離れた位置の回転翼 3 0 に対応する E D S 1 0 に対して、より大きな優先値を付与する（ステップ S 3 2 5）。例えば、図 1 に示す浮上用回転翼 3 1 b と、浮上用回転翼 3 1 f とが低出力状態であると判定された場合、重心位置 C M からより離れた浮上用回転翼 3 1 f に対応する E D S 1 0 に対し、浮上用回転翼 3 1 b に対応する E D S 1 0 に比べてより大きな優先値が付与される。重心位置 C M からより離れた回転翼 3 0（浮上用回転翼）の異常は、重心位置 C M より近い回転翼 3 0（浮上用回転翼）の異常に比べて、電動航空機 2 0 の姿勢や飛行状態の安定性により大きな影響を与える。そこで、本実施形態では、重心位置 C M からより離れた回転翼 3 0（浮上用回転翼）に対応する E D S 1 0 を対象として、より早く異常診断を行うことにより、再稼動前に異常を発見する可能性を高めるようにしている。

【 0 0 4 8 】

図 6 に示すように、診断実行部 1 2 3 は、過去の診断履歴において、準異常の判断結果の回数がより多い E D S 1 0 に対してより大きな優先値を付与する（ステップ S 3 3 0）。「準異常」とは、異常とは診断されないまでも、正常状態のうち異常状態に近い状態を意味する。準異常であると判断された回数が多い場合、その後に異常状態となる可能性が高い。このため、このような異常状態となる可能性が高い E D S 1 0 を対象として、より早く異常診断を行うことにより、再稼動前に異常を発見する可能性を高めるようにしている。

【 0 0 4 9 】

診断実行部 1 2 3 は、各 E D S 1 0 について、ステップ S 3 1 5 ~ S 3 3 0 でそれぞれ付与された優先値を積算して合計優先値を算出する（ステップ S 3 3 5）。診断実行部 1 2 3 は、ステップ S 3 3 5 で算出された合計優先値のより大きな E D S 1 0 ほど診断順序がより早くなるように、診断順序を決定する（ステップ S 3 4 0）。なお、合計積算値が同じ E D S 1 0 に対しては、予め定められた順序にしたがって診断順序が決定されてもよい。ステップ S 3 4 0 の完了後、図 4 に示すステップ S 1 2 0 が実行される。

【 0 0 5 0 】

図 4 に示すように、診断実行部 1 2 3 は、診断条件が成立するか否かを判定する（ステ

10

20

30

40

50

ップ S 1 2 0)。「診断条件」とは、異常診断を行う前提となる条件である。本実施形態では、診断条件は、「電源 7 0 の蓄電量が所定値以上である」が該当する。異常診断では、電動航空機 2 0 の移動に寄与しない電力が消費される。このため、本実施形態では、電源 7 0 の蓄電量が所定値よりも少ない場合には、異常診断を行わないようにして、電動航空機 2 0 の移動に影響を与えないようにしている。飛行制御装置 1 0 0 は、電源 7 0 の SOC (State Of Charge) を検出する図示しない ECU から、電源 7 0 の SOC 値を受信する。そして、診断実行部 1 2 3 は、受信した SOC 値に基づき、診断条件が成立するかどうかを判定する。診断条件が成立しない場合 (ステップ S 1 2 0 : NO)、再びステップ S 1 2 0 が実行される。つまり、診断条件が成立するまで処理は待機する。

【 0 0 5 1 】

10

診断条件が成立したと判定された場合 (ステップ S 1 2 0 : YES)、診断実行部 1 2 3 は、診断処理を実行する (ステップ S 1 2 5)。このとき、診断実行部 1 2 3 は、ステップ S 1 1 5 で特定された順序にしたがって、診断対象の EDS 1 0 (以下、「診断対象 EDS 1 0」とも呼ぶ) に対し診断処理を実行する。

【 0 0 5 2 】

図 7 に示すように、診断実行部 1 2 3 は、診断対象 EDS 1 0 から各センサ 1 4 ~ 1 6 の検出値を取得する (ステップ S 4 0 5)。診断実行部 1 2 3 は、各検出値が予め定められた閾値以上であるかどうかを判定する (ステップ S 4 1 0)。いずれか 1 つの検出値が閾値以上であると判定された場合 (ステップ S 4 1 0 : YES)、図 8 に示すように、診断実行部 1 2 3 は、該当 EDS 1 0 は異常であると判断する (ステップ S 4 5 5)。診断対象 EDS 1 0 においてモータ 1 1 は低出力状態であるので、各センサ 1 4 ~ 1 6 や、制御部 1 3 や、記憶装置 1 7 等に異常が発生していない状態、つまり正常状態であれば、各センサ値は低い値となる。このように正常状態における各センサ 1 4 ~ 1 6 の値を実験やシミュレーション等により特定し、かかる値よりも大きな値を上述のステップ S 4 1 0 における閾値として予め設定してもよい。

20

【 0 0 5 3 】

図 7 に示すように、各センサ 1 4 ~ 1 6 のすべての検出値が閾値以上でない (閾値未満である) と判定された場合 (ステップ S 4 1 0 : NO)、診断実行部 1 2 3 は、診断対象 EDS 1 0 に対し、制御部 1 3 を構成するマイクロコンピュータの ROM や RAM 等のリソースのチェックを指示する (ステップ S 4 1 5)。かかるチェックとしては、例えば、チェックサムを利用した書き込みおよび読み出しの正常性チェックなどが該当する。このようなチェックは、処理負荷が高い処理のため、モータ 1 1 が低出力状態であり、制御部 1 3 における異常処理以外の処理負荷が低い場合に実行するようにしている。診断実行部 1 2 3 は、ステップ S 4 1 5 におけるチェックの結果が OK であったか否かを判定する (ステップ S 4 2 0)。チェックの結果が OK でないと判定された場合 (ステップ S 4 2 0 : NO)、図 8 に示すように上述のステップ S 4 5 5 が実行され、該当 EDS 1 0 は異常であると判断される。

30

【 0 0 5 4 】

チェックの結果が OK であると判定された場合 (ステップ S 4 2 0 : YES)、診断実行部 1 2 3 は、診断対象 EDS 1 0 に対し、診断用通電を指示する (ステップ S 4 2 5)。診断対象 EDS 1 0 において、制御部 1 3 は、かかる指示を受信すると、インバータ回路 1 2 を介して診断用にモータ 1 1 に通電を行う。診断用通電とは、異常診断のためのモータ 1 1 への通電を意味する。本実施形態では、制御部 1 3 は、診断用通電として、通電した結果、モータ 1 1 のトルクに与える影響を抑えることが可能な程度の所定の大きさの電流を、モータ 1 1 に供給する。具体的には、トルクに影響を与えない d 軸電流から主として成り、q 軸電流が所定値以下である予め定められた大きさの電流を、診断用通電としてモータ 1 1 に供給する。なお、診断用通電として、高周波パターンの電流を供給するようにしてもよい。

40

【 0 0 5 5 】

診断実行部 1 2 3 は、診断対象 EDS 1 0 から各センサ 1 4 ~ 1 6 の検出値を取得する

50

(ステップS 4 3 0)。このとき得られる検出値は、モータ 1 1 に診断用通電を行っている状況における各センサ 1 4 ~ 1 6 の検出値に相当する。診断実行部 1 2 3 は、ステップ S 4 3 0 で得られた検出値が正常値であるか否かを判定する(ステップ S 4 3 5)。本実施形態では、正常状態において診断用通電を行った際に得られる各センサ 1 4 ~ 1 6 の検出値の範囲が予め実験等により特定されている。診断実行部 1 2 3 は、ステップ S 4 3 0 で得られた検出値がかかる範囲内である場合には正常値であると判定し、かかる範囲外の値である場合には正常値でないと判定する。診断用通電を行っている場合、正常状態であれば、電流値および電圧値は比較的低い値として検出される。また、診断用通電を行っている場合、モータ 1 1 は回転を行わないため、回転数はゼロとなる。

【 0 0 5 6 】

検出値は正常値でないと判定された場合(ステップ S 4 3 5 : N O)、上述のステップ S 4 5 5 が実行される。これに対して、検出値は正常値であると判定された場合(ステップ S 4 3 5 : Y E S)、診断実行部 1 2 3 は、フェイルセーフ機能診断を実行する(ステップ S 4 4 0)。フェイルセーフ機能診断とは、フェイルセーフ機能の正常性の診断を意味する。本実施形態において、フェイルセーフ機能とは、電源 7 0 の端子電圧(電源電圧)の異常や、インバータ回路 1 2 におけるオンオフ故障などが生じた場合に、モータ 1 1 に供給する電流をゼロにして、モータ 1 1 の回転を抑える機能を意味する。電源 7 0 の端子電圧の異常は、インバータ回路 1 2 に供給される電圧の異常として検出できる。また、インバータ回路 1 2 におけるオンオフ故障が生じた場合、相電流の異常として検出できる。制御部 1 3 は、これらの異常の有無を検出しており、異常が検出された場合には、モータ 1 1 への供給電流を停止するように、インバータ回路 1 2 を制御してフェイルセーフ機能を実現する。そして、診断実行部 1 2 3 は、ステップ S 4 4 0 において、偽の異常信号、例えば、異常電圧値や異常電流値を含む信号を制御部 1 3 に出力することにより、擬似的に異常状態を作り出す。かかる異常状態において、モータ 1 1 への供給電流が停止されるか否かを特定することにより、フェイルセーフ機能の正常性を診断することができる。なお、偽の異常信号を出力するための回路構成や具体的な診断方法は、公知の構成、例えば、特開 2 0 1 8 - 2 6 9 5 3 号公報に記載の構成などを用いてもよい。

【 0 0 5 7 】

図 8 に示すように、診断実行部 1 2 3 は、フェイルセーフ機能診断の結果、フェイルセーフ機能は O K であるか否かを判定する(ステップ S 4 4 5)。フェイルセーフ機能は O K でないと判定された場合(ステップ S 4 4 5 : N O)、上述のステップ S 4 5 5 が実行され、該当 E D S 1 0 は異常であると判断される。これに対して、フェイルセーフ機能は O K であると判定された場合(ステップ S 4 4 5 : Y E S)、該当 E D S 1 0 は正常であると判断される(ステップ S 4 5 0)。

【 0 0 5 8 】

上述のステップ S 4 5 0 またはステップ S 4 5 5 の完了後、診断実行部 1 2 3 は、全ての診断対象 E D S 1 0、すなわち、低出力状態であると判定された全ての E D S 1 0 について、診断は完了したか否かを判定する(ステップ S 4 6 0)。全ての診断対象 E D S 1 0 について診断が完了していないと判定された場合(ステップ S 4 6 0 : N O)、処理は上述のステップ S 4 0 5 に戻る。そして、この場合、次の順序の E D S 1 0 を対象として、診断が実行されることとなる。他方、全ての診断対象 E D S 1 0 について診断が完了したと判定された場合(ステップ S 4 6 0 : Y E S)、図 4 に示すように、処理はステップ S 1 0 5 に戻ることとなる。

【 0 0 5 9 】

ステップ S 4 5 0 およびステップ S 4 5 5 の判断結果は、飛行制御装置 1 0 0 において履歴として記録される。また、本実施形態では、かかる判断結果は、U I 部 5 0 において表示される。したがって、ユーザは、U I 部 5 0 を利用して各 E D S 1 0 が異常であるか否かを確認できる。また、異常であると判断された E D S 1 0 では、正常状態に回復可能な場合には、自動的に回復のための処理が行われてもよい。例えば、図 7 に示すステップ S 4 1 0 において、検出値が閾値以上である場合、センサのオフセット(ゼロ点)調整を

10

20

30

40

50

自動的に実行してもよい。また、ステップ S 4 3 5 において、検出値が正常値でないと判定された E D S 1 0 では、センサゲインの調整を自動的に実行してもよい。

【 0 0 6 0 】

以上説明した第 1 実施形態の異常診断システム 1 2 0 によれば、モータ 1 1 の出力状態が電動航空機 2 0 の移動に寄与しない低出力状態であると判定された場合に E D S 1 0 の異常診断を行うので、電動航空機 2 0 の移動動作への影響を抑えて E D S 1 0 の異常診断を行いことができる。

【 0 0 6 1 】

また、複数のモータ 1 1 のうち、低出力状態であると判定されたモータ 1 1 を駆動させる E D S 1 0 を対象として異常診断を行うので、複数のモータ 1 1 のうち、低出力状態ではないと判定されたモータ 1 1 を駆動させる E D S 1 0 に対して異常診断に起因する影響を与えることを抑制でき、電動航空機 2 0 の移動動作への影響をより抑えることができる。

10

【 0 0 6 2 】

また、電動航空機 2 0 の駆動力のモードが電動航空機 2 0 の垂直方向の昇降および水平方向の推進を実現しない第 3 駆動モードである場合に、各モータ 1 1 について低出力状態であると判定するので、かかる第 3 駆動モードにおいて異常診断を行うことができる。このため、異常診断が電動航空機 2 0 の垂直方向の昇降および水平方向の推進に影響を与えることを抑制できる。

【 0 0 6 3 】

また、電動航空機 2 0 の駆動力のモードが昇降を実現する第 1 駆動モードのみである場合に推進用回転翼 3 2 a ~ 3 2 b に対応するモータ 1 1 の出力状態が低出力状態であると判定するので、かかるモータ 1 1 を駆動させる E D S 1 0 を対象として異常診断を行うことができ、かかる異常診断が電動航空機 2 0 の昇降動作に影響を与えることを抑制できる。また、電動航空機 2 0 の駆動力のモードが水平方向の推進を実現する第 2 駆動モードのみである場合に浮上用回転翼 3 1 a ~ 3 1 g に対応するモータ 1 1 の出力状態が低出力状態であると判定するので、かかるモータ 1 1 を駆動させる E D S 1 0 を対象として異常診断を行うことができ、かかる異常診断が電動航空機 2 0 の水平方向の推進動作に影響を与えることを抑制できる。

20

【 0 0 6 4 】

また、診断実行部 1 2 3 は、各モータ 1 1 の再稼動予定時期と、各モータ 1 1 を駆動させる E D S 1 0 が異常である場合の影響の大きさと、各モータ 1 1 を駆動させる E D S 1 0 についての異常診断の履歴とに基づき異常診断の実行順序を決定するので、より早い異常診断が求められる E D S 1 0 を対象として、より早く異常診断を行うことができ、異常診断の実行順序を適切に決定できる。

30

【 0 0 6 5 】

また、診断実行部 1 2 3 は、再稼動予定時期が早いモータ 1 1 を駆動させる E D S 1 0 を、再稼動予定時期が遅いモータ 1 1 を駆動させる E D S 1 0 に比べて、より早い順序で異常診断を行うので、異常診断が再稼働時に電動航空機 2 0 の移動動作に影響を与えることを抑制できる。

【 0 0 6 6 】

40

また、診断実行部 1 2 3 は、浮上用回転翼 3 1 a ~ 3 1 g に対応する E D S 1 0 を、推進用回転翼 3 2 a ~ 3 2 b に対応する E D S 1 0 に比べて、より早い順序で異常診断を行うので、異常診断が電動航空機 2 0 の昇降動作に影響を与えることを抑制できる。

【 0 0 6 7 】

また、電動航空機 2 0 の重心位置 C M からの距離が相対的に長い位置の浮上用回転翼に対応する E D S 1 0 を、重心位置 C M からの距離が相対的に短い位置の浮上用回転翼に対応する E D S 1 0 に比べて、より早い順序で異常診断を行うので、重心位置 C M からの距離が相対的に長い位置に配置され、異常診断が電動航空機 2 0 に与える影響がより大きな E D S 1 0 を対象として、より早い順序で異常診断を行うことができ、異常診断が電動航空機 2 0 の昇降動作に与える影響をより抑制できる。

50

【 0 0 6 8 】

また、診断実行部 1 2 3 は、異常診断の対象の E D S 1 0 に、モータ 1 1 の出力が電動航空機 2 0 の移動に寄与しない程度の出力となるようにモータ 1 1 に通電させて異常診断を行うので、異常診断が電動航空機 2 0 の移動動作に影響を与えないようにしつつ、モータ 1 1 への通電を前提とする異常診断を実行できる。

【 0 0 6 9 】

B . 第 2 実施形態 :

第 2 実施形態の電動航空機 2 0 の構成は、第 1 実施形態の電動航空機 2 0 の構成と同じであるので、同一の構成要素には同一の符号を付し、その詳細な説明を省略する。第 2 実施形態の異常診断処理は、低出力状態判定処理の詳細手順において、第 1 実施形態と異なり、他の手順は第 1 実施形態と同じである。

10

【 0 0 7 0 】

図 9 に示すように、第 2 実施形態の低出力状態判定処理では、情報取得部 1 2 1 は、第 1 実施形態と異なり、各 E D S 1 0 の制御モードを取得して特定する (ステップ S 2 0 5 a) 。例えば、情報取得部 1 2 1 は、各 E D S 1 0 に問い合わせることにより、制御モードを特定する。出力状態判定部 1 2 2 は、特定された制御モードが、R U N モードであるか否かを判定する (ステップ S 2 5 0) 。R U N モードであると判定された場合 (ステップ S 2 5 0 : Y E S) 、出力状態判定部 1 2 2 は、該当モータ 1 1 について低出力状態ではないと判定する (ステップ S 2 5 5) 。これに対して、R U N モードでないと判定された場合 (ステップ S 2 5 0 : N O) 、出力状態判定部 1 2 2 は、該当モータ 1 1 について低出力状態であると判定する (ステップ S 2 6 0) 。第 2 実施形態においては、E D S 1 0 の制御モードは、本開示のモータ出力関連情報に相当する。

20

【 0 0 7 1 】

以上説明した第 2 実施形態の異常診断システム 1 2 0 は、第 1 実施形態の異常診断システム 1 2 0 と同様な効果を有する。加えて、低出力状態判定処理を簡素な処理で行えるため、かかる処理に要する時間を短くでき、また、処理負荷を軽減できる。

【 0 0 7 2 】

C . 第 3 実施形態 :

第 3 実施形態の電動航空機 2 0 の構成は、第 1 実施形態の電動航空機 2 0 の構成と同じであるので、同一の構成要素には同一の符号を付し、その詳細な説明を省略する。第 3 実施形態の異常診断処理は、低出力状態判定処理の詳細手順において、第 1 実施形態と異なり、他の手順は第 1 実施形態と同じである。

30

【 0 0 7 3 】

図 1 0 に示すように、第 3 実施形態の低出力状態判定処理では、情報取得部 1 2 1 は、統合制御部 1 1 0 から各 E D S 1 0 に送信される指示出力値を取得し、出力状態判定部 1 2 2 は、かかる指示出力値が閾値以下であるか否かを判定する (ステップ S 5 0 5) 。このステップ S 5 0 5 の閾値は、モータ 1 1 の出力状態が低出力状態となるようにモータ 1 1 を駆動させる際の指示値の最大値に設定されている。かかる閾値は、予め低出力状態、すなわちモータ 1 1 の出力が電動航空機 2 0 の昇降や推進等の移動に寄与しない程度である状態となるように、制御部 1 3 がモータ 1 1 を制御するための指令値として、実験等により予め特定する。したがって、このステップ S 5 0 5 は、換言すると、統合制御部 1 1 0 から各 E D S 1 0 に送信される駆動指令を取得し、取得された駆動指令が、モータ 1 1 の出力状態が低出力状態となるようにモータ 1 1 を駆動させる指示であるか否かを判定する処理に該当する。

40

【 0 0 7 4 】

指示出力値が閾値以下であると判定された場合 (ステップ S 5 0 5 : Y E S) 、出力状態判定部 1 2 2 は、該当 E D S 1 0 について低出力状態であると判定する (ステップ S 5 3 0) 。これに対して、指示出力値が閾値以下でないと判定された場合 (ステップ S 5 0 5 : N O) 、情報取得部 1 2 1 は、各 E D S 1 0 から、相電流値、モータ回転数、およびモータ回転角度を取得する (ステップ S 5 1 0) 。出力状態判定部 1 2 2 は、取得された

50

相電流値がいずれも閾値電流値以下であるか否かを判定する（ステップ S 5 1 5）。

【 0 0 7 5 】

取得された相電流がいずれも閾値電流以下であると判定された場合（ステップ S 5 1 5 : Y E S）、上述のステップ S 5 3 0 が実行される。他方、取得された相電流のうちの少なくとも 1 つが閾値電流以下でないと判定された場合（ステップ S 5 1 5 : N O）、出力状態判定部 1 2 2 は、取得されたモータ回転数が閾値回転数以下であるか否かを判定する（ステップ S 5 2 0）。

【 0 0 7 6 】

取得されたモータ回転数が閾値回転数以下であると判定された場合（ステップ S 5 2 0 : Y E S）、上述のステップ S 5 3 0 が実行される。他方、取得されたモータ回転数が閾値回転数以下でないと判定された場合（ステップ S 5 2 0 : N O）、出力状態判定部 1 2 2 は、取得された回転角度が所定角度範囲を所定時間以上保持しているか否かを判定する（ステップ S 5 2 5）。本実施形態において、各モータ 1 1 は、R U N モードから待機モードあるいは終了モードへ遷移する際、所定の回転角度で停止するように構成されている。これは、回転翼 3 0 を構成するブレードを所定位置で停止させるためである。ステップ S 5 2 5 の所定角度範囲は、このブレードが所定位置で停止するときのモータ 1 1 の回転角度を含む角度範囲に設定してもよい。モータ 1 1 の回転角度がこの所定角度範囲内であること所定時間以上保持する場合、モータ 1 1 の回転が停止し、電動航空機 2 0 が移動しない状態である可能性が高い。本実施形態において、ステップ S 5 2 5 の所定時間は、5 秒に設定されている。なお、5 秒に限らず任意の時間に設定してもよい。

【 0 0 7 7 】

回転角度が所定角度範囲を所定時間以上保持していると判定された場合（ステップ S 5 2 5 : Y E S）、上述のステップ S 5 3 0 が実行される。これに対して、回転角度が所定角度範囲を所定時間以上保持していないと判定された場合（ステップ S 5 2 5 : N O）、出力状態判定部 1 2 2 は、該当 E D S 1 0 について低出力状態でないとして判定する（ステップ S 5 3 5）。ステップ S 5 3 0 又はステップ S 5 3 5 の完了後、低出力状態判定処理は終了する。第 3 実施形態においては、各 E D S 1 0 への指示出力値、モータ電流値、モータ回転数、および回転角度は、それぞれ本開示のモータ出力関連情報に相当する。

【 0 0 7 8 】

以上説明した第 3 実施形態の異常診断システム 1 2 0 は、第 1 実施形態の異常診断システム 1 2 0 と同様な効果を有する。加えて、統合制御部 1 1 0 から送信される駆動指令が、出力状態が低出力状態となるようにモータ 1 1 を駆動させる指示である場合に、低出力状態であると判定するので、低出力状態であるか否かを精度良く判定できる。

【 0 0 7 9 】

D . 第 4 実施形態 :

第 4 実施形態の電動航空機 2 0 の構成は、第 1 実施形態の電動航空機 2 0 の構成と同じであるので、同一の構成要素には同一の符号を付し、その詳細な説明を省略する。第 4 実施形態の異常診断処理は、低出力状態判定処理の詳細手順において、第 1 実施形態と異なり、他の手順は第 1 実施形態と同じである。

【 0 0 8 0 】

図 1 1 に示すように、第 4 実施形態の低出力状態判定処理では、情報取得部 1 2 1 は、高度センサ 4 1 の検出値を取得し、出力状態判定部 1 2 2 は、取得された検出値に基づき、電動航空機 2 0 の現在の飛行高度が所定の閾値高度以上であるか否かを判定する（ステップ S 6 0 5）。飛行高度が所定の閾値高度以上であると判定された場合（ステップ S 6 0 5 : Y E S）、出力状態判定部 1 2 2 は、浮上用回転翼 3 1 a ~ 3 1 g に対応するモータ 1 1 について低出力状態であると判定する（ステップ S 6 1 5）。ステップ S 6 1 5 の閾値高度は、電動航空機 2 0 が通常飛行する高度よりも若干低い高度として予め設定されている。電動航空機 2 0 がかかる閾値高度以上に達している場合には、もはや電動航空機 2 0 を上昇させる必要はなく、浮上用回転翼 3 1 a ~ 3 1 g が停止している可能性が高い。そこで、本実施形態では、この場合、浮上用回転翼 3 1 a ~ 3 1 g に対応するモータ 1

1 について低出力状態であると判定するようにしている。

【 0 0 8 1 】

飛行高度が所定の閾値高度以上でないと判定された場合（ステップ S 6 0 5 : N O ）、情報取得部 1 2 1 は、速度センサ 4 3 の検出値を取得し、出力状態判定部 1 2 2 は、取得された検出値に基づき、電動航空機 2 0 の高さ方向（鉛直方向）の速度の大きさが第 1 閾値速度（の大きさ）以下であるか否かを判定する（ステップ S 6 1 0 ）。高さ方向の速度の大きさが第 1 閾値速度以下であると判定された場合（ステップ S 6 1 0 : Y E S ）、上述のステップ S 6 1 5 が実行され、浮上用回転翼 3 1 a ~ 3 1 g に対応するモータ 1 1 について低出力状態であると判定される。ステップ S 6 1 0 における第 1 閾値速度は、電動航空機 2 0 が鉛直方向に上昇する際の速度として、予め実験等により特定されて設定されている。電動航空機 2 0 の高さ方向（鉛直方向）の速度の大きさが第 1 閾値速度以下の場合、もはや電動航空機 2 0 は上昇していない可能性が高い。そこで、本実施形態では、この場合、浮上用回転翼 3 1 a ~ 3 1 g に対応するモータ 1 1 について低出力状態であると判定するようにしている。

10

【 0 0 8 2 】

高さ方向の速度の大きさが第 1 閾値速度以下でないと判定された場合（ステップ S 6 1 0 : N O ）、出力状態判定部 1 2 2 は、取得された速度センサ 4 3 の検出値に基づき、電動航空機 2 0 の水平方向の速度の大きさが第 2 閾値速度（の大きさ）以下であるか否かを判定する（ステップ S 6 2 0 ）。水平方向の速度の大きさが第 2 閾値速度以下であると判定された場合（ステップ S 6 2 0 : Y E S ）、出力状態判定部 1 2 2 は、推進用回転翼 3 2 a、3 2 b に対応するモータ 1 1 について低出力状態であると判定する（ステップ S 6 2 5 ）。ステップ S 6 2 0 における第 2 閾値速度は、電動航空機 2 0 が水平方向に推進する際の最低速度として、予め実験等により特定されて設定されている。水平方向の速度の大きさが第 2 閾値速度以下である場合、電動航空機 2 0 が昇降、或いは、その位置を維持している可能性が高い。そこで、本実施形態では、この場合、推進用回転翼 3 2 a、3 2 b に対応するモータ 1 1 について低出力状態であると判定するようにしている。

20

【 0 0 8 3 】

水平方向の速度の大きさが第 2 閾値速度以下でないと判定された場合（ステップ S 6 2 0 : N O ）、出力状態判定部 1 2 2 は、すべてのモータ 1 1 について低出力状態ではないと判定する（ステップ S 6 3 0 ）。ステップ S 6 1 5、ステップ S 6 2 5、又はステップ S 6 3 0 の完了後、低出力状態判定処理は終了する。第 4 実施形態において、電動航空機 2 0 の飛行高度、高さ方向の電動航空機 2 0 の速度、および電動航空機 2 0 の水平方向の速度は、それぞれ本開示のモータ出力関連情報に相当する。

30

【 0 0 8 4 】

以上説明した第 4 実施形態の異常診断システム 1 2 0 は、第 1 実施形態の異常診断システム 1 2 0 と同様な効果を有する。加えて、電動航空機 2 0 の飛行高度が閾値高度以上の場合に、および、高さ方向の速度の大きさが第 1 閾値速度以下である場合に、浮上用回転翼 3 1 a ~ 3 1 g に対応するモータ 1 1 について低出力状態であると判定するので、浮上用回転翼 3 1 a ~ 3 1 g に対応するモータ 1 1 について低出力状態であるか否かの判定を精度良く実行できる。また、水平方向の速度の大きさが第 2 閾値速度以下であると判定された場合に、推進用回転翼 3 2 a、3 2 b に対応するモータ 1 1 について低出力状態であると判定するので、推進用回転翼 3 2 a、3 2 b に対応するモータ 1 1 について低出力状態であるか否かの判定を精度良く実行できる。

40

【 0 0 8 5 】

E . 他の実施形態 :

（ E 1 ）各実施形態では、複数のモータ 1 1 のうち、低出力状態であると判定されたモータ 1 1 を有する E D S 1 0 を、診断対象 E D S としていたが、本開示はこれに限定されない。複数のモータ 1 1 のうちの 1 つでも低出力状態であると判定された場合には、すべての E D S 1 0 を診断対象 E D S として、診断処理（ステップ S 1 2 5 ）を実行してもよい。このような構成により、異常診断に要する合計時間を短くできる。

50

【 0 0 8 6 】

(E 2) 各実施形態では、診断対象 E D S 1 0 が複数存在する場合には、診断順序特定処理によって特定された順序に従って、ひとつずつ診断処理が実行されていたが、本開示はこれに限定されない。診断対象 E D S 1 0 のすべてを同時に診断してもよい。かかる構成においては、ステップ S 1 2 0 の診断条件において、9つの E D S 1 0 のすべてにおいて診断用通電を行う前提で、電源 7 0 の S O C の条件を定めてもよい。

【 0 0 8 7 】

(E 3) 各実施形態の診断順序特定処理では、下記 (i) ~ (i v) の合計 4 つの観点で、診断順序を決定するための優先度を設定していたが、これらのうちの一部を省略してもよい。

(i) 再稼動予定時期

(i i) 浮上用回転翼 3 1 a ~ 3 1 g に対応する E D S 1 0 であるか否か

(i i i) 重心位置 C M からの距離

(i v) 準異常の診断結果の回数

例えば、再稼動予定時期のみで診断順序の優先度を設定してもよい。また、各実施形態では、上記 4 つの観点で付与された優先度を積算して合算値を求め、かかる合算値に基づき診断順序を決定していたが、積算に代えて、各優先値を乗算して得られた値に基づき診断順序を決定してもよい。また、各観点での優先値のうちの最も大きな優先値や、優先値の平均値で互いに比較して大きい順序で診断順序を設定してもよい。また、上記 4 つの観点到に重み付けをした上で積算して合算値 (優先値) を求めてもよい。

【 0 0 8 8 】

なお、上記 (i) ~ (i v) の合計 4 つの観点のうち、(i i) および (i i i) は、要するに「該当 E D S 1 0 が異常の場合の影響が大きい E D S 1 0 に対してより大きな優先度を付与する」という観点であり、(i v) は、要するに「異常診断の履歴に基づき異常となる可能性の高い E D S 1 0 に対してより大きな優先度を付与する」という観点であった。したがって、これらの観点到に含まれるのであれば、上記 (i) ~ (i v) の観点到に限らず、他の任意の観点到で優先度を設定してもよい。

【 0 0 8 9 】

また、上記 (i) ~ (i v) の合計 4 つの観点のうちの一部の観点到に代えて、または、これらの観点到に加えて、他の観点到で優先度を設定してもよい。例えば、各 E D S 1 0 が冗長性を有する構成においては、冗長の一部の E D S 1 0 が異常である又は異常の疑いがある場合には、かかる冗長を構成する正常な E D S 1 0 に対し、冗長のすべての E D S 1 0 が正常である E D S 1 0 に比べて高い優先度 (優先値) を付与するようにしてもよい。

【 0 0 9 0 】

(E 4) 各実施形態の診断処理において、診断用通電前のセンサ検出値に基づく診断 (ステップ S 4 1 0) と、制御部 1 3 のリソースのチェック (ステップ S 4 1 5 、 S 4 2 0) と、診断用通電実行中のセンサ検出値に基づく診断 (ステップ S 4 3 5) と、フェイルセーフ機能診断 (ステップ S 4 4 0) とのうちの一部を省略してもよい。

【 0 0 9 1 】

(E 5) 各実施形態において、診断条件は、「電源 7 0 の蓄電量が所定値以上である」であったが、本開示はこれに限定されない。かかる条件に代えて、または、かかる条件に加えて、下記 (a) 、 (b) のような条件であってもよい。

(a) 「電動航空機 2 0 が離着陸状態でない」

(b) 「電動航空機 2 0 の姿勢や舵角が、旋回中でないことを示している」

上記 (a) 、 (b) の条件を満たさない状況、すなわち、電動航空機 2 0 が離着陸状態である状況および電動航空機 2 0 が旋回中である状況では、診断の誤動作が起きた場合に、電動航空機 2 0 の飛行への影響が大きく現れる可能性が高い。そこで、このような状況でないことを、診断条件として設定してもよい。

【 0 0 9 2 】

(E 6) 各実施形態の診断処理では、制御部 1 3 は、診断用通電として、通電した結果

10

20

30

40

50

、モータ１１のトルクに与える影響を抑えることが可能な程度の所定の大きさの電流を、モータ１１に供給していたが、モータ１１のトルクに影響を与える程度の大きさの電流をモータ１１に供給してもよい。かかる構成においては、浮上用回転翼３１a～３１gのうちの複数の回転翼３０に対応するＥＤＳ１０が診断対象ＥＤＳである場合には、一部の回転翼３０を正転させ、残りの回転翼３０を反転させることにより、合計揚力をゼロとして、電動航空機２０の移動への影響を抑えるようにしてもよい。また、互いに対称位置の回転翼３０に対応するＥＤＳ１０が診断対象である場合には、これらのＥＤＳ１０が互いに逆方向にモータ１１を回転させるようにしてもよい。かかる構成においても、電動航空機２０の移動への影響を抑えることができる。また、電動航空機２０が旋回中の場合には、かかる旋回方向に応じてモータ１１の回転方向を制御してもよい。例えば、電動航空機２０が左方向に旋回中にはモータ１１を左回りにし、右方向に旋回中にはモータ１１を右回りにしてもよい。かかる構成においても、電動航空機２０の旋回動作に影響を与えることを抑制できる。

10

【００９３】

（Ｅ７）第４実施形態では、低出力状態であるか否かを判定するために、高さ方向の速度および水平方向の速度を用いているが、本開示はこれに限定されない。高さ方向（鉛直方向）の加速度および水平方向の加速度を用いてもよい。例えば、高さ方向の加速度が所定の大きさ以下になった場合や、所定の大きさだけ減少した場合に、浮上用回転翼３１a～３１gに対応するモータ１１について低出力状態であると判定してもよい。また、水平方向の加速度が所定の大きさ以上になった場合や、所定の大きさだけ増加した場合に、浮上用回転翼３１a～３１gに対応するモータ１１について低出力状態であると判定してもよい。

20

【００９４】

（Ｅ８）第１実施形態では、電動航空機２０は、固定翼（主翼２５）を有する航空機であったが、ティルトタイプの翼を有し、かかる翼に回転翼３０が設置されているタイプの航空機であってもよい。この構成においては、例えば、第１実施形態の右翼２６および左翼２７がいずれのティルトタイプである場合には、図１の状態では、回転翼３１f、３１gが浮上用の回転翼と機能し、回転翼３２a、３２bが推進用の回転翼として機能する。これに対して、図１の状態から、右翼２６および左翼２７が９０度回転した場合には、回転翼３１f、３１gが推進用の回転翼と機能し、回転翼３２a、３２bが浮上用の回転翼として機能する。このような構成においては、右翼２６および左翼２７のティルト角度に基づき、各回転翼が水平方向の移動と鉛直方向の移動とのいずれに寄与するかを判断、動作モードと組み合わせで低出力状態を判定してもよい。具体的には、第１駆動モードでない場合、すなわち、第２駆動モードのみ或いは第３駆動モードの場合には、鉛直方向の移動に寄与する回転翼に対応するモータ１１は低出力状態であると判定できる。また、第２駆動モードでない場合、すなわち、第１駆動モードのみ或いは第３駆動モードの場合には、水平方向の移動に寄与する回転翼に対応するモータ１１は低出力状態であると判定できる。以上説明した構成は、ティルトロータを有する航空機についても同様に適用できる。

30

【００９５】

（Ｅ９）モータ出力関連情報は、第１実施形態においては電動航空機２０の駆動力のモードであり、第２実施形態においてはＥＤＳ１０の制御モードであり、第３実施形態においては各ＥＤＳ１０への指示出力値、モータ電流値、モータ回転数、および回転角度であり、第４実施形態においては電動航空機２０の飛行高度、高さ方向の電動航空機２０の速度、および電動航空機２０の水平方向の速度であったが、本開示はこれらに限定されない。例えば、姿勢センサ４４の検出結果を、モータ出力関連情報として用いてもよい。具体的には、姿勢センサ４４の検出結果が目標の姿勢範囲から外れている場合、例えば、機体軸Ａ×の地面となす角度の目標角度範囲から外れている場合には、すべてのモータ１１が低出力状態であると判定してもよい。電動航空機２０の姿勢が目標範囲から外れている場合、何らかの異常が生じたためＥＤＳ１０の制御モードが異常モードとなり、モータ１１の出力が制限されている可能性がある。或いは、モータ１１の出力が低いために、姿勢が

40

50

安定せずに目標範囲から外れている可能性がある。

【 0 0 9 6 】

(E 1 0) 各実施形態における異常診断システム 1 2 0、E D S 1 0、飛行制御装置 1 0 0 等の構成はあくまでも一例であり、様々に変更可能である。例えば、異常診断システム 1 2 0 は、電動航空機 2 0 に限らず、自動車や列車などの電動車両や、船舶などの任意の移動体に搭載されてもよい。また、E D S 1 0 は、モータ 1 1 を備えない構成としてもよい。統合制御部 1 1 0 は、電動航空機 2 0 に搭載されずに、例えば、地上の管制塔などに設置されたサーバ装置により構成されてもよい。かかる構成においては、通信装置 6 0 を介した通信により各 E D S 1 0 や異常診断システム 1 2 0 を制御するようにしてもよい。また、例えば、各実施形態では、電動航空機 2 0 の駆動力のモードとして、第 1 ないし第 3 駆動モードが予め用意されていたが、第 3 駆動モードについては、予め用意されていなくてもよい。例えば、電動航空機 2 0 の駆動力のモードとして、「何も設定されない」ことが許容される構成においては、第 1 実施形態における低出力状態判定処理のステップ S 2 1 0 において、「特定されたモードが第 3 駆動モードであるか否か」を判定することに代えて、「特定されたモードが第 1 駆動モードと第 2 駆動モードとのいずれも含まないか否か」を判定するようにしてもよい。そして、「特定されたモードが第 1 駆動モードと第 2 駆動モードとのいずれも含まない」と判定された場合に上述のステップ S 2 1 5 が実行され、「特定されたモードが第 1 駆動モードと第 2 駆動モードとのいずれかを含む」と判定された場合に、上述のステップ S 2 2 0 以降が実行される構成としてもよい。

10

【 0 0 9 7 】

(E 1 1) 本開示に記載の統合制御部 1 1 0、異常診断システム 1 2 0 及びそれら手法は、コンピュータプログラムにより具体化された一つ乃至は複数の機能を実行するようにプログラムされたプロセッサ及びメモリを構成することによって提供された専用コンピュータにより、実現されてもよい。あるいは、本開示に記載の統合制御部 1 1 0、異常診断システム 1 2 0 及びそれら手法は、一つ以上の専用ハードウェア論理回路によってプロセッサを構成することによって提供された専用コンピュータにより、実現されてもよい。もしくは、本開示に記載の統合制御部 1 1 0、異常診断システム 1 2 0 及びそれら手法は、一つ乃至は複数の機能を実行するようにプログラムされたプロセッサ及びメモリと一つ以上のハードウェア論理回路によって構成されたプロセッサとの組み合わせにより構成された一つ以上の専用コンピュータにより、実現されてもよい。また、コンピュータプログラムは、コンピュータにより実行されるインストラクションとして、コンピュータ読み取り可能な非遷移有形記録媒体に記憶されていてもよい。

20

30

【 0 0 9 8 】

本開示は、上述の実施形態に限られるものではなく、その趣旨を逸脱しない範囲において種々の構成で実現することができる。例えば、発明の概要の欄に記載した形態中の技術的特徴に対応する各実施形態中の技術的特徴は、上述の課題の一部又は全部を解決するために、あるいは、上述の効果の一部又は全部を達成するために、適宜、差し替えや、組み合わせを行うことが可能である。また、その技術的特徴が本明細書中に必須なものとして説明されていなければ、適宜、削除することが可能である。

【 符号の説明 】

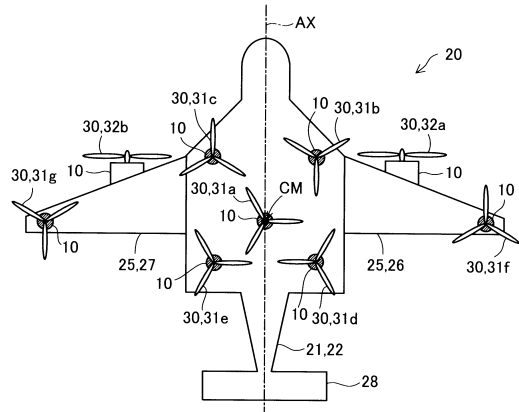
40

【 0 0 9 9 】

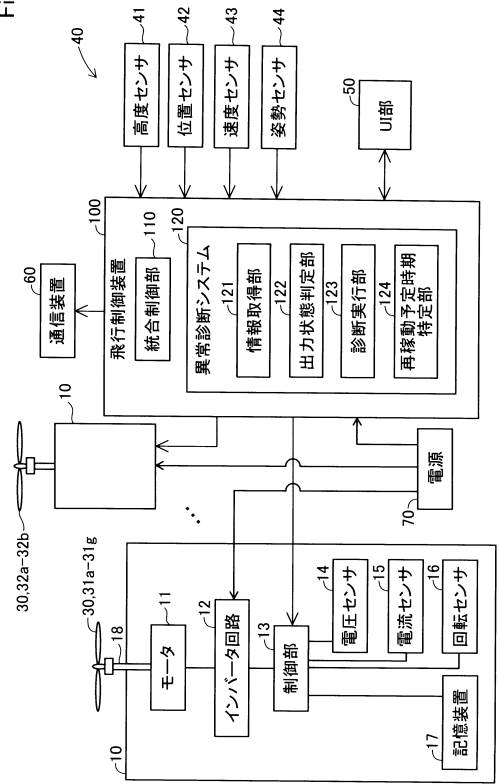
1 0 ... 電駆動システム (E D S)、1 1 ... モータ、2 0 ... 移動体 (電動航空機)、1 2 0 ... 異常診断システム、1 2 1 ... 情報取得部、1 2 2 ... 出力状態判定部、1 2 3 ... 診断実行部

【図面】
【図 1】

Fig.1



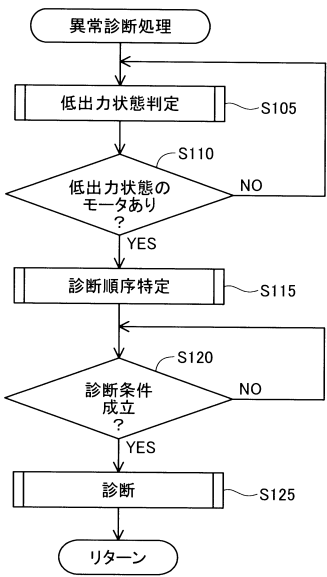
【図 2】
Fig.2



【図 3】
Fig.3

機体の動作	離着陸	水平移動A	水平移動B	ホバリング	地上待機
機体の移動方向	鉛直	鉛直 & 水平	鉛直 & 水平	—	—
機体の駆動力	第1駆動モード	第1駆動モード 第2駆動モード	第2駆動モード	第1駆動モード	第3駆動モード
浮上用モータ	稼働	稼働	休止	稼働	休止
推進用モータ	休止	稼働	稼働	休止	休止

【図 4】
Fig.4



10

20

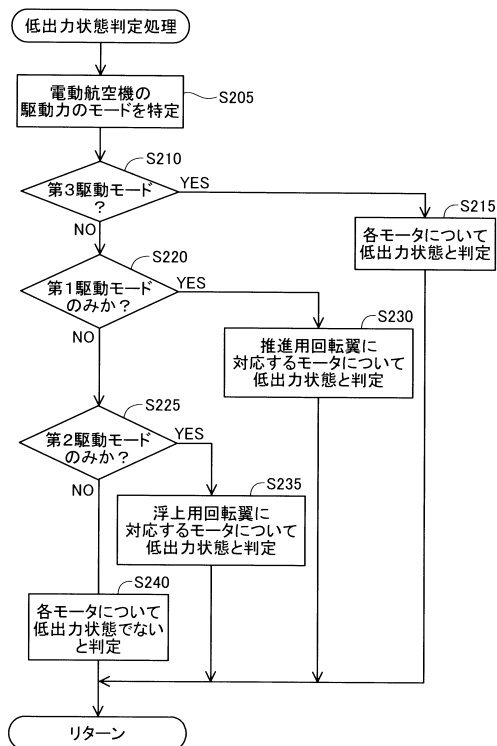
30

40

50

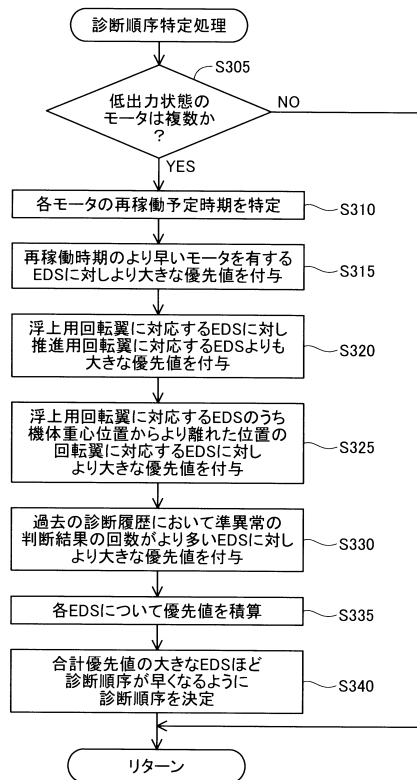
【図 5】

Fig.5



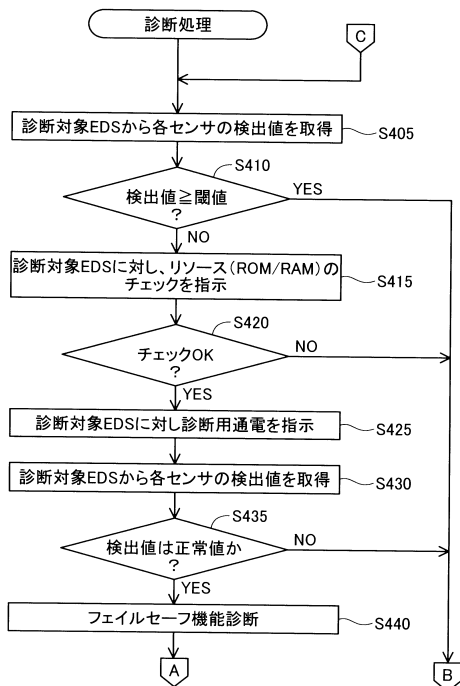
【図 6】

Fig.6



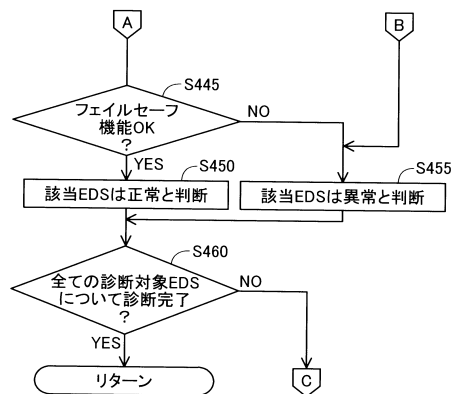
【図 7】

Fig.7



【図 8】

Fig.8



10

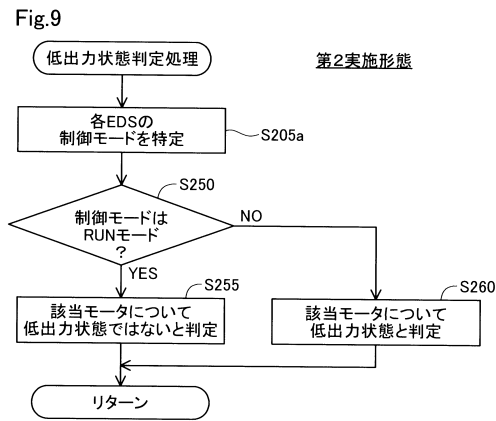
20

30

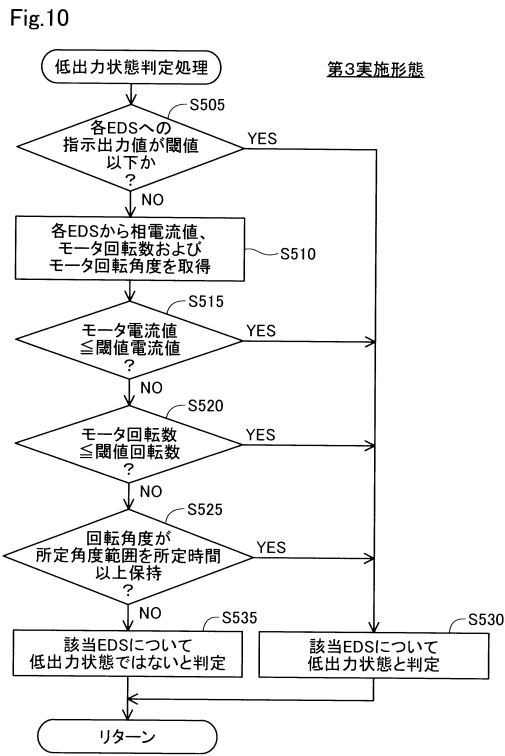
40

50

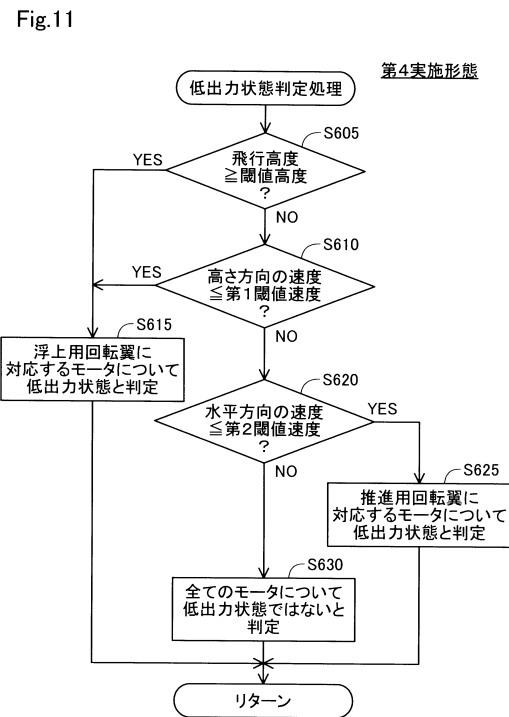
【図 9】



【図 10】



【図 11】



10

20

30

40

50

フロントページの続き

(56)参考文献 特開 2 0 0 7 - 3 0 6 6 5 7 (J P , A)
特開 2 0 0 6 - 9 4 5 7 4 (J P , A)
特開 2 0 1 4 - 2 2 7 1 5 5 (J P , A)
特開 2 0 0 9 - 8 3 7 9 8 (J P , A)

(58)調査した分野 (Int.Cl. , D B 名)
G 0 5 B 2 3 / 0 2
B 6 4 D 2 7 / 2 4
B 6 4 C 2 7 / 0 8
H 0 2 P 2 9 / 0 2 4