

(19) 日本国特許庁 (JP)

(12) 特 許 公 報 (B2)

(11) 特許番号

特許第6727665号
(P6727665)

(45) 発行日 令和2年7月22日 (2020.7.22)

(24) 登録日 令和2年7月3日 (2020.7.3)

(51) Int.Cl.	F I
F O 2 C 9/28 (2006.01)	F O 2 C 9/28 A
B 6 4 D 27/24 (2006.01)	B 6 4 D 27/24
F O 2 C 6/20 (2006.01)	F O 2 C 6/20

請求項の数 13 外国語出願 (全 36 頁)

(21) 出願番号	特願2018-120349 (P2018-120349)	(73) 特許権者	390041542
(22) 出願日	平成30年6月26日 (2018.6.26)		ゼネラル・エレクトリック・カンパニー
(65) 公開番号	特開2019-56365 (P2019-56365A)		アメリカ合衆国、ニューヨーク州 1 2 3
(43) 公開日	平成31年4月11日 (2019.4.11)		4 5、スケネクタデイ、リバーロード、1
審査請求日	平成30年10月25日 (2018.10.25)		番
(31) 優先権主張番号	15/639, 200	(74) 代理人	100188558
(32) 優先日	平成29年6月30日 (2017.6.30)		弁理士 飯田 雅人
(33) 優先権主張国・地域又は機関	米国 (US)	(74) 代理人	100154922
			弁理士 崔 允辰
		(74) 代理人	100207158
			弁理士 田中 研二
		(74) 代理人	100137545
			弁理士 荒川 聡志
		(74) 代理人	100105588
			弁理士 小倉 博

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 航空機用推進システム

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

航空機（10）のハイブリッド電気推進システム（50）を動作させるための方法（300, 400, 500）であって、前記ハイブリッド電気推進システム（50）は、推進器（104）、ターボ機械（102）、および電気システムを含み、前記電気システムは、前記ターボ機械（102）に連結された電気機械（56）を含み、前記方法（300, 400, 500）は、

1つまたは複数のコンピューティングデバイス（610）によって、前記ターボ機械（102）が前記推進器（104）を回転させるように前記ターボ機械（102）を動作させるステップ（302）と、

前記1つまたは複数のコンピューティングデバイス（610）によって、前記ターボ機械（102）を動作させている間に前記ターボ機械（102）を加速するためのコマンドを受信するステップ（304）と、

前記ターボ機械（102）を加速するための前記受信したコマンドにตอบสนองして、前記ターボ機械（102）、または前記推進器（104）、またはその両方に動力を加えるために、前記1つまたは複数のコンピューティングデバイス（610）によって電力を前記電気機械（56）に供給するステップ（306）と、

前記ターボ機械（102）を加速するための前記受信したコマンドにตอบสนองして、前記ターボ機械（102）のアクティブクリアランス制御システム（160）を使用して、前記1つまたは複数のコンピューティングデバイス（610）によって前記ターボ機械（10

10

20

2) 内の1つまたは複数のクリアランス(166)を増加させるステップ(424)と、
前記アクティブクリアランス制御システム(160)を使用して前記ターボ機械(102) 内の前記1つまたは複数のクリアランス(166)を増加させると同時に、前記ターボ機械(102)を加速するための前記受信したコマンドに応答して、前記1つまたは複数のコンピューティングデバイス(610)によって、前記ターボ機械(102)の燃焼部(114)への燃料流量を初期時間にわたって実質的に一定に維持するステップ(428)と、

を含む方法(300, 400, 500)。

【請求項2】

前記ハイブリッド電気推進システム(50)は、電気エネルギー蓄積ユニット(55)をさらに含み、前記1つまたは複数のコンピューティングデバイス(610)によって、前記電気機械(56)に電力を供給するステップ(306)は、前記1つまたは複数のコンピューティングデバイス(610)によって、前記電気エネルギー蓄積ユニット(55)から前記電気機械(56)に電力を供給するステップ(414, 416, 512)を含む、請求項1に記載の方法(300, 400, 500)。

【請求項3】

前記1つまたは複数のコンピューティングデバイス(610)によって、前記電気エネルギー蓄積ユニット(55)から前記電気機械(56)に電力を供給するステップ(414, 416, 512)は、前記1つまたは複数のコンピューティングデバイス(610)によって、前記電気機械(56)を用いて少なくとも約15馬力の機械的動力を前記ターボ機械(102)、または前記推進器(104)、またはその両方に供給するステップ(418)を含む、請求項2に記載の方法(300, 400, 500)。

【請求項4】

前記1つまたは複数のコンピューティングデバイス(610)によって前記ターボ機械(102)を動作させるステップ(302)は、前記1つまたは複数のコンピューティングデバイス(610)によって、定常状態飛行動作条件で前記ターボ機械(102)を動作させるステップ(402)を含む、請求項1に記載の方法(300, 400, 500)。

【請求項5】

前記ターボ機械(102)を加速するための前記受信したコマンドに応答して、前記1つまたは複数のコンピューティングデバイス(610)によって、前記ターボ機械(102)の燃焼部(114)への燃料流量を初期時間にわたって実質的に一定に維持するステップ(428)

をさらに含む、請求項4に記載の方法(300, 400, 500)。

【請求項6】

前記1つまたは複数のコンピューティングデバイス(610)によって、前記ターボ機械(102)の前記燃焼部(114)への前記燃料流量を前記初期時間にわたって実質的に一定に維持するステップ(428)は、前記ターボ機械(102)の高圧システムの回転速度を前記初期時間にわたって実質的に一定に維持するステップ、または前記ターボ機械(102)内の温度を前記初期時間にわたって実質的に一定に維持するステップ、またはその両方を含む、請求項5に記載の方法(300, 400, 500)。

【請求項7】

前記アクティブクリアランス制御システム(160)を使用して、前記1つまたは複数のコンピューティングデバイス(610)によって前記ターボ機械(102)内の前記1つまたは複数のクリアランス(166)を増加させるステップ(424)は、前記1つまたは複数のコンピューティングデバイス(610)によって、前記電気機械(56)に電力を供給するステップ(306)と実質的に同時に、前記アクティブクリアランス制御システム(160)を使用して、前記1つまたは複数のコンピューティングデバイス(610)によって、前記ターボ機械(102)内の前記1つまたは複数のクリアランス(166)を増加させるステップ(426)を含む、請求項1に記載の方法(300, 400,

500)。

【請求項8】

前記1つまたは複数のコンピューティングデバイス(610)によって、前記定常状態飛行動作条件で前記ターボ機械(102)を動作させるステップ(402)は、前記1つまたは複数のコンピューティングデバイス(610)によって、前記電気機械(56)から電力を抽出するステップ(404, 408, 530)を含む、請求項4に記載の方法(300, 400, 500)。

【請求項9】

前記1つまたは複数のコンピューティングデバイス(610)によって、前記ターボ機械(102)を動作させるステップ(302)は、前記1つまたは複数のコンピューティングデバイス(610)によって、アイドリング動作条件で前記ターボ機械(102)を動作させるステップ(502)を含む、請求項1に記載の方法(300, 400, 500)。

【請求項10】

前記1つまたは複数のコンピューティングデバイスによって、前記ターボ機械を加速するための前記コマンドを受信するステップ(504)は、前記1つまたは複数のコンピューティングデバイスによって、前記アイドリング動作条件で前記ターボ機械を動作させている間に前記ターボ機械を加速するための前記コマンドを受信するステップ(504)を含み、前記1つまたは複数のコンピューティングデバイスによって、前記アイドリング動作条件で前記ターボ機械を動作させている間に前記ターボ機械を加速するための前記コマンドを受信するステップ(504)は、前記1つまたは複数のコンピューティングデバイスによって、前記アイドリング動作条件で前記ターボ機械を動作させている間に、前記ターボ機械を離陸出力レベルまで加速するためのコマンドを受信するステップ(508)を含む、請求項9に記載の方法。

【請求項11】

前記1つまたは複数のコンピューティングデバイス(610)によって、前記アイドリング動作条件で前記ターボ機械(102)を動作させている間に前記ターボ機械(102)を加速するための前記コマンドを受信するステップ(504)は、前記1つまたは複数のコンピューティングデバイス(610)によって、推力増加コマンドを受信するステップ(506)を含む、請求項9に記載の方法(300, 400, 500)。

【請求項12】

航空機(10)のためのハイブリッド電気推進システム(50)であって、推進器(104)と、

前記推進器(104)を駆動して推力を発生させるために前記推進器(104)に連結されたターボ機械(102)と、

電気機械(56)と、前記電気機械(56)に電氣的に接続可能な電気エネルギー蓄積ユニット(55)と、を含む電気システムであって、前記電気機械(56)は前記ターボ機械(102)に連結されている、電気システムと、

前記ターボ機械(102)を動作させている間に前記ターボ機械(102)を加速するためのコマンドを受信し、前記ターボ機械(102)を加速するための前記受信したコマンドに応答して、前記ターボ機械(102)、前記推進器(104)、またはその両方に電力を加えるために前記電気機械(56)に電力を供給するように構成されたコントローラ(150)と、

前記ターボ機械(102)を加速するための受信したコマンドに応答して、前記ターボ機械(102)内の1つまたは複数のクリアランス(166)を増加させるよう構成された前記ターボ機械(102)のアクティブクリアランス制御システム(160)と、を含む、

前記アクティブクリアランス制御システム(160)を使用して前記ターボ機械(102)内の前記1つまたは複数のクリアランス(166)を増加させると同時に、前記ターボ機械(102)を加速するための前記受信したコマンドに応答して、前記ターボ機械(

10

20

30

40

50

102)の燃焼部(114)への燃料流量が初期時間にわたって実質的に一定に維持される、ハイブリッド電気推進システム(50)。

【請求項13】

電気エネルギー蓄積ユニット(55)をさらに含み、前記電気機械(56)に電力を供給する際に、前記コントローラ(150)は、電力を前記電気エネルギー蓄積ユニット(55)から前記電気機械(56)に供給するように構成される、

請求項12に記載のハイブリッド電気推進システム(50)。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、一般的に、ハイブリッド電気推進システム、およびハイブリッド電気推進システムのターボ機械の加速を増加させるための方法に関する。

【背景技術】

【0002】

従来の商用航空機は、一般に、胴体と、一对の翼部と、推力を提供する推進システムと、を含む。推進システムは、通常、ターボファンジェットエンジンなどの少なくとも2つの航空機エンジンを含む。各ターボファンジェットエンジンは、通常、翼部と胴体から分離された、翼部の下の吊下位置などの、航空機の翼部のそれぞれ1つに取り付けられている。

【0003】

一般に、ターボファンジェットエンジンは、エンジンの推力出力の量を比較的迅速に増加または減少させることができるように動作することができる。例えば、航空機の離陸に先立って、ターボファンジェットエンジンは、ターボファンジェットエンジンが最小量の推力を生成するアイドリング設定点で動作する。しかし、特に、アイドリング設定点は、通常、航空機が離陸するときにターボファンジェットエンジンが比較的迅速に加速することを可能にするために、燃料消費および推力生成の観点から望ましい場合よりも高く設定される。アイドリング設定点をこのより高いレベルに設定することは、離陸時の加速の増加の利点を提供する一方で、ターボファンジェットエンジンが必要以上に燃料を消費し、必要以上の推力をさらに生成する可能性がある。所望のレベルの推力より高いと、例えば、地上走行動作中に航空機のブレーキが早期に摩耗する可能性がある。

【0004】

さらに、飛行中に定常状態で動作する場合、ターボファンジェットエンジンのアクティブクリアランス制御システムは、例えばターボファンジェットエンジンのそれぞれのタービン部内のクリアランスを閉鎖または締め付けることができる。理解されるように、クリアランスを締め付けることによって、ターボファンジェットエンジンの効率を高めることができる。しかし、所望の場合にターボファンジェットエンジンが有効出力を比較的迅速に増加させることを可能にするために、これらのクリアランスは望ましいほど近くに保たれない。より具体的には、ターボファンジェットエンジンを加速するためのコマンドにตอบสนองして、ターボファンジェットエンジン内の構成要素が必要に応じて半径方向外側に膨張することを可能にするために、これらのクリアランスは望ましいほど近くに保たれない(この膨張は、例えば、回転速度の増加および/または構成要素が曝される温度の上昇により生じる)。

【0005】

したがって、効率的な方法でターボ機械を動作させることができる航空機のための推進システムが有用であろう。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0006】

【特許文献1】米国特許出願公開第2017/0058785号明細書

【発明の概要】

【0007】

本発明の態様および利点は、その一部を以下の説明に記載しており、あるいはその説明から明らかになり、あるいは本発明の実施により学ぶことができる。

【0008】

本開示の例示的な態様では、航空機のハイブリッド電気推進システムを動作させるための方法が提供される。ハイブリッド電気推進システムは、推進器、ターボ機械、および電気システムを含み、電気システムは、ターボ機械に連結された電気機械を含む。本方法は、1つまたは複数のコンピューティングデバイスによって、ターボ機械が推進器を回転させるようにターボ機械を動作させるステップと、1つまたは複数のコンピューティングデバイスによって、ターボ機械を動作させている間にターボ機械を加速するためのコマンドを受信するステップと、ターボ機械を加速するための受信したコマンドに応答して、ターボ機械、または推進器、またはその両方に動力を加えるために、1つまたは複数のコンピューティングデバイスによって電力を電気機械に供給するステップと、を含む。

10

【0009】

特定の例示的な態様では、ハイブリッド電気推進システムは、電気エネルギー蓄積ユニットをさらに含み、1つまたは複数のコンピューティングデバイスによって、電気機械に電力を供給するステップは、1つまたは複数のコンピューティングデバイスによって、電気エネルギー蓄積ユニットから電気機械に電力を供給するステップを含む。

【0010】

例えば、特定の例示的な態様では、1つまたは複数のコンピューティングデバイスによって、電気エネルギー蓄積ユニットから電気機械に電力を供給するステップは、1つまたは複数のコンピューティングデバイスによって、電気機械を用いて少なくとも約15馬力の機械的動力をターボ機械、または推進器、またはその両方に供給するステップを含む。

20

【0011】

特定の例示的な態様では、1つまたは複数のコンピューティングデバイスによってターボ機械を動作させるステップは、1つまたは複数のコンピューティングデバイスによって、定常状態飛行動作条件でターボ機械を動作させるステップを含む。

【0012】

例えば、特定の例示的な態様では、本方法は、ターボ機械を加速するための受信したコマンドに応答して、1つまたは複数のコンピューティングデバイスによって、ターボ機械の燃焼部への燃料流量を初期時間にわたって実質的に一定に維持するステップをさらに含む。

30

【0013】

例えば、特定の例示的な態様では、1つまたは複数のコンピューティングデバイスによって、ターボ機械の燃焼部への燃料流量を初期時間にわたって実質的に一定に維持するステップは、ターボ機械の高圧システムの回転速度を初期時間にわたって実質的に一定に維持するステップ、またはターボ機械内の温度を初期時間にわたって実質的に一定に維持するステップ、またはその両方を含む。

【0014】

例えば、特定の例示的な態様では、本方法は、ターボ機械を加速するための受信したコマンドに応答して、ターボ機械のアクティブクリアランス制御システムを使用して、1つまたは複数のコンピューティングデバイスによってターボ機械内の1つまたは複数のクリアランスを増加させるステップをさらに含む。

40

【0015】

例えば、特定の例示的な態様では、本方法は、ターボ機械を加速するための受信したコマンドに応答して、1つまたは複数のコンピューティングデバイスによって、ターボ機械の燃焼部への燃料流量を初期時間にわたって実質的に一定に維持するステップをさらに含み、アクティブクリアランス制御システムを使用して、1つまたは複数のコンピューティングデバイスによってターボ機械内の1つまたは複数のクリアランスを増加させるステップは、1つまたは複数のコンピューティングデバイスによって、ターボ機械の燃焼部への

50

燃料流量を初期時間にわたって実質的に一定に維持するステップと実質的に同時に、アクティブクリアランス制御システムを使用して、1つまたは複数のコンピューティングデバイスによってターボ機械内の1つまたは複数のクリアランスを増加させるステップを含む。

【0016】

例えば、特定の例示的な態様では、アクティブクリアランス制御システムを使用して、1つまたは複数のコンピューティングデバイスによってターボ機械内の1つまたは複数のクリアランスを増加させるステップは、1つまたは複数のコンピューティングデバイスによって、電気機械に電力を供給するステップと実質的に同時に、アクティブクリアランス制御システムを使用して、1つまたは複数のコンピューティングデバイスによって、ターボ機械内の1つまたは複数のクリアランスを増加させるステップを含む。

10

【0017】

例えば、特定の例示的な態様では、1つまたは複数のコンピューティングデバイスによって、定常状態飛行動作条件でターボ機械を動作させるステップは、1つまたは複数のコンピューティングデバイスによって、電気機械から電力を抽出するステップを含む。

【0018】

特定の例示的な態様では、1つまたは複数のコンピューティングデバイスによって、ターボ機械を動作させるステップは、1つまたは複数のコンピューティングデバイスによって、アイドリング動作条件でターボ機械を動作させるステップを含む。

【0019】

例えば、特定の例示的な態様では、1つまたは複数のコンピューティングデバイスによって、アイドリング動作条件でターボ機械を動作させている間にターボ機械を加速するためのコマンドを受信するステップは、1つまたは複数のコンピューティングデバイスによって、アイドリング動作条件でターボ機械を動作させている間に、ターボ機械を離陸出力レベルまで加速するためのコマンドを受信するステップを含む。

20

【0020】

例えば、特定の例示的な態様では、1つまたは複数のコンピューティングデバイスによって、アイドリング動作条件でターボ機械を動作させている間にターボ機械を加速するためのコマンドを受信するステップは、1つまたは複数のコンピューティングデバイスによって、推力増加コマンドを受信するステップを含む。

30

【0021】

例えば、特定の例示的な態様では、1つまたは複数のコンピューティングデバイスによって、ターボ機械を加速するためのコマンドを受信するステップは、1つまたは複数のコンピューティングデバイスによって、命令された推力増加の変化率を決定するステップをさらに含み、1つまたは複数のコンピューティングデバイスによって、電気機械に電力を供給するステップは、決定された推力増加の変化率に少なくとも部分的に基づいて、1つまたは複数のコンピューティングデバイスによって、電気機械に供給される電力量を变調するステップを含む。

【0022】

特定の例示的な態様では、本方法は、1つまたは複数のコンピューティングデバイスによって、ターボ機械の動作パラメータを示すデータを受信するステップをさらに含み、1つまたは複数のコンピューティングデバイスによって、電気機械に電力を供給するステップは、ターボ機械の動作パラメータを示す受信データに少なくとも部分的に基づいて、1つまたは複数のコンピューティングデバイスによって、電気機械に供給される電力量を变調するステップを含む。

40

【0023】

特定の例示的な態様では、本方法は、1つまたは複数のコンピューティングデバイスによって、ターボ機械の動作パラメータを示すデータを受信するステップと、ターボ機械の動作パラメータを示す受信データに少なくとも部分的に基づいて、1つまたは複数のコンピューティングデバイスによって、電気機械への電力の供給を終了させるステップと、を

50

さらに含む。

【0024】

特定の例示的な態様では、ハイブリッド電気推進システムは、電気エネルギー蓄積ユニットをさらに含み、本方法は、1つまたは複数のコンピューティングデバイスによって、電気エネルギー蓄積ユニットの充電状態を示すデータを受信するステップをさらに含み、1つまたは複数のコンピューティングデバイスによって、電気機械に電力を供給するステップは、電気エネルギー蓄積ユニットの充電状態を示す受信データに少なくとも部分的に基づいて、1つまたは複数のコンピューティングデバイスによって、電気機械に供給される電力量を変調するステップを含む。

【0025】

特定の例示的な態様では、ハイブリッド電気推進システムは、電気エネルギー蓄積ユニットをさらに含み、本方法は、1つまたは複数のコンピューティングデバイスによって、電気エネルギー蓄積ユニットの充電状態を示すデータを受信するステップと、1つまたは複数のコンピューティングデバイスによって、電気エネルギー蓄積ユニットの充電状態を示す受信データに少なくとも部分的に基づいて、電気機械への電力の供給を終了させるステップと、をさらに含む。

【0026】

本開示の例示的な実施形態では、航空機のためのハイブリッド電気推進システムが提供される。ハイブリッド電気推進システムは、推進器と、推進器を駆動して推力を発生させるために推進器に連結されたターボ機械と、電気機械および電気機械に電氣的に接続可能な電気エネルギー蓄積ユニットを含む電気システムであって、電気機械はターボ機械に連結されている、電気システムと、コントローラと、を含む。コントローラは、ターボ機械を動作させている間にターボ機械を加速するためのコマンドを受信し、ターボ機械を加速するための受信したコマンドに応答して、ターボ機械、推進器、またはその両方に電力を加えるために電気機械に電力を供給するように構成される。

【0027】

特定の例示的な実施形態では、推進システムは電気エネルギー蓄積ユニットをさらに含み、電気機械に電力を供給する際に、コントローラは、電力を電気エネルギー蓄積ユニットから電気機械に供給するように構成される。

【0028】

本発明のこれらおよび他の特徴、態様および利点は、以下の説明および添付の特許請求の範囲を参照することによってよりよく理解されるであろう。添付の図面は、本明細書に組み込まれて、本明細書の一部を構成し、本発明の実施形態を例示し、説明と共に本発明の原理を説明するのに役立つ。

【0029】

本発明の完全かつ可能な開示は、その最良の形態を含み、当業者に向けられて、本明細書に記載されており、それは以下の添付の図面を参照する。

【図面の簡単な説明】

【0030】

【図1】本開示の様々な例示的な実施形態による航空機の上面図である。

【図2】図1の例示的な航空機に取り付けられたガスタービンエンジンの概略断面図である。

【図3】本開示の1つの例示的な実施形態によるアクティブクリアランス制御システムの拡大図である。

【図4】本開示の例示的な実施形態による電動ファンアセンブリの概略断面図である。

【図5】本開示の別の例示的な実施形態による推進システムを含む航空機の上面図である。

【図6】本開示の例示的な態様による、航空機のハイブリッド電気推進システムを動作させるための方法の流れ図である。

【図7】本開示の別の例示的な態様による、航空機のハイブリッド電気推進システムを動

10

20

30

40

50

作させるための方法の流れ図である。

【図 8】図 7 の航空機のハイブリッド電気推進システムを動作させるための例示的な方法の例示的な態様の流れ図である。

【図 9】図 7 の航空機のハイブリッド電気推進システムを動作させるための例示的な方法の別の例示的な態様の流れ図である。

【図 10】本開示の例示的な態様による、航空機のハイブリッド電気推進システムを動作させるための方法の流れ図である。

【図 11】図 10 の航空機のハイブリッド電気推進システムを動作させるための例示的な方法の例示的な態様の流れ図である。

【図 12】本開示の例示的な態様によるコンピューティングシステムを示す図である。

10

【発明を実施するための形態】

【0031】

本発明の実施形態を示すために、ここで詳細に参照を行うが、その 1 つまたは複数の実施例を添付の図面に示す。詳細な説明では、図面中の特徴を参照するために数字および文字による符号を用いる。図面および説明の中で同じまたは類似の符号は、本発明の同じまたは類似の部品を参照するために使用されている。

【0032】

本明細書において使用されるとき、「第 1 の」、「第 2 の」、および「第 3 の」という用語は、1 つの構成要素を別の構成要素から区別するために交換可能に用いることができ、個々の構成要素の位置または重要性を示すことを意図しない。

20

【0033】

「前方」および「後方」という用語は、ガスタービンエンジンまたは車両内の相対位置を指し、ガスタービンエンジンまたは車両の通常の動作姿勢を指す。例えば、ガスタービンエンジンに関しては、前方はエンジン入口に近い位置を指し、後方はエンジンノズルまたは排気部に近い位置を指す。

【0034】

「上流」および「下流」という用語は、経路における流れに対する相対的な方向を指す。例えば、流体の流れに対して、「上流」は流体が流れてくる方向を指し、「下流」は流体が流れていく方向を指す。しかしながら、本明細書で使用される「上流」および「下流」という用語はまた、電気の流れを指してもよい。

30

【0035】

単数形「a」、「an」、および「the」は、文脈が特に明確に指示しない限り、複数の言及を含む。

【0036】

近似を表す文言は、本明細書および特許請求の範囲の全体にわたってここで用いられるように、それが関連する基本的機能の変更をもたらすことなく許容範囲で変化することができる定量的表現を修飾するために適用される。したがって、「およそ」、「約」、および「実質的に」などの用語で修飾された値は、明記された厳密な値に限定されるものではない。少なくともいくつかの場合には、近似を表す文言は、値を測定するための機器の精度、あるいは、構成要素および／またはシステムを構築もしくは製造するための方法または機械の精度に対応することができる。例えば、近似を表す文言は、10% のマージン内にあることを指すことができる。

40

【0037】

ここで、ならびに明細書および特許請求の範囲の全体を通じて、範囲の限定は組み合わせられ、および置き換えられ、文脈および文言が特に指示しない限り、このような範囲は識別され、それに包含されるすべての部分範囲を含む。例えば、本明細書に開示するすべての範囲は端点を含み、端点は互いに独立して組み合わせ可能である。

【0038】

本開示は、概して、ターボ機械、ターボ機械に連結された推進器、および電気システムを有するハイブリッド電気推進システムに関する。電気システムは、電気機械と、（潜在

50

的に) 電気機械に電氣的に接続可能な電気エネルギー蓄積ユニットと、を含む。さらに、電気機械は、ターボ機械の回転が電気機械を回転させるようにターボ機械に連結され、同様に、電気機械の回転は、ターボ機械の1つまたは複数の構成要素を回転させることができる。

【0039】

特に、特定の例示的な実施形態では、推進器は第1の推進器であってもよく、電気機械は第1の電気機械であってもよく、ハイブリッド電気推進システムは第2の推進器をさらに含んでもよく、電気システムは第2の推進器に連結された第2の電気機械をさらに含んでもよい。このようにして、第2の電気機械は、少なくとも特定の動作中に第2の推進器を駆動して航空機に推進力の利益を提供することができる。例えば、特定の例示的な実施形態では、ターボ機械および第1の推進器は、ターボファンエンジンの一部として共に構成されてもよく、第2の推進器は、電気推進器アセンブリ（例えば、電動ファン）の一部として構成されてもよい。あるいは、他の例示的な実施形態では、ターボ機械および第1の推進器は、第1のターボファンエンジンの一部として共に構成されてもよく、第2の推進器は第2のターボファンエンジンの一部として構成されてもよい（例えば第2のターボ機械を第2の電気機械および/または第2の推進器に連結する）。さらに、他の例示的な実施形態では、これらの構成要素は、例えば、ターボプロップエンジン、または任意の他の適切なガスタービンエンジンの一部として構成されてもよい。

【0040】

ハイブリッド電気推進システムの特定の動作では、ハイブリッド電気推進システムは、ターボ機械がより効率的に動作することを可能にすると共に、ターボ機械に対して比較的高いレベルの加速を提供するように動作可能である。例えば、特定の例示的な態様では、ハイブリッド電気推進システムは、推進器を回転させるためにターボ機械を作動させながら、ターボ機械を加速するためのコマンドを受信することができる。ハイブリッド電気推進システムは、ターボ機械を加速するための受信したコマンドに応答して、第1の電気機械に電力を供給して、ターボ機械に動力を加えることができる。ターボ機械に加えられる付加的な動力は、ターボ機械の加速を実質的に瞬間的に増加させて、望ましい、比較的速い加速応答を提供することができる。

【0041】

少なくとも特定の例示的な態様では、上記の加速補助は、定常状態の飛行動作におけるハイブリッド電気推進システムの動作中に行われてもよいことが理解されよう。これは、例えば、ターボ機械がアクティブクリアランス制御システムを含む場合に、特に有用であり得る。例えば、そのような例示的な態様では、ハイブリッド電気推進システムは、ターボ機械を加速するためのコマンドを受信したことに応答して、ターボ機械のコア（すなわち、ターボ機械の高圧システム）の回転速度を実質的に一定の回転速度および温度に維持することができ、ターボ機械のコアを加速させる前に、ハイブリッド電気推進システムがアクティブクリアランス制御システムを緩和するまたは緩めること（すなわち、様々なタービンロータブレードと外側流路ライナーとの間の半径方向クリアランスなどの、ターボ機械内のクリアランスを増加させること）を可能にすることができる。アクティブクリアランス制御システムが緩んでいる間に、第1の電気機械に供給される電力は、航空機に対してターボ機械の所望の比較的速い加速応答を提供することができる。特に、以下により詳細に説明するように、特定の例示的な実施形態では、電気機械は、ターボ機械の低圧システムに連結されてもよく、その結果、電気機械を介してターボ機械に動力を加えることは、ターボ機械の高圧システムの回転速度に実質的に影響しない。

【0042】

このようにして、アクティブクリアランス制御システムは、加速応答時間を心配することなく、定常状態の飛行動作中に、比較的狭いクリアランスに維持することができ、そのような定常状態飛行動作条件の間にターボ機械をより効率的に動作させることができる。

【0043】

他の例示的な態様では、アイドリング動作条件でのハイブリッド電気推進システムの動

作中に上記の加速補助を行うことができることが理解されよう。電気機械への電力の供給は、ターボ機械の燃焼部への燃料流量を増加させることと実質的に同時に行うことができる。このようにして、電気機械は、ターボ機械が燃焼により低アイドル設定点から加速する間に、ターボ機械に比較的即時の動力を供給することができる（エンジンが加速能力を損なう比較的低いアイドル設定点で動作することを可能にする）。

【0044】

ここで図面を参照すると、図面全体を通して同一符号は同一要素を示しており、図1は、本開示の様々な実施形態を組み込むことができる例示的な航空機10の上面図である。図1に示すように、航空機10は、それを通して延在する長手方向中心線14、横方向L、前端部16、および後端部18を画定する。さらに、航空機10は、航空機10の前端部16から航空機10の後端部18まで長手方向に延在する胴体12と、航空機10の後端部にある尾翼19と、を含む。さらに、航空機10は、第1の、左側翼部20および第2の、右側翼部22を含む翼部アセンブリを含む。第1の翼部20および第2の翼部22はそれぞれ、長手方向中心線14に対して横方向外側に延在する。第1の翼部20および胴体12の一部は共に航空機10の第1の側24を画定し、第2の翼部22および胴体12の別の部分は共に航空機10の第2の側26を画定する。図示する実施形態では、航空機10の第1の側24は航空機10の左側として構成され、航空機10の第2の側26は航空機10の右側として構成される。

【0045】

図示する例示的な実施形態の翼部20、22の各々は、1つもしくは複数の前縁フラップ28および1つもしくは複数の後縁フラップ30を含む。航空機10は、またはむしろ、航空機10の尾翼19は、ヨー制御用のラダーフラップ（図示せず）を有する垂直スタビライザ32と、ピッチ制御用のエレベータフラップ36をそれぞれ有する一对の水平スタビライザ34と、をさらに含む。胴体12は、外面または外板38をさらに含む。しかしながら、本開示の他の例示的な実施形態では、航空機10は、それに加えてまたはその代わりに、任意の他の適切な構成を含むことができることを理解されたい。例えば、他の実施形態では、航空機10は、任意の他の構成のスタビライザを含むことができる。

【0046】

ここでまた図2および図4を参照すると、図1の例示的な航空機10は、第1の推進器アセンブリ52および第2の推進器アセンブリ54を有するハイブリッド電気推進システム50をさらに含む。図2は、第1の推進器アセンブリ52の概略断面図を示し、図4は、第2の推進器アセンブリ54の概略断面図を示す。図示した実施形態では、第1の推進器アセンブリ52および第2の推進器アセンブリ54は、それぞれアンダーウィング取り付け構成で構成される。しかし、以下に説明するように、第1および第2の推進器アセンブリ52、54の一方または両方は、他の例示的な実施形態では、任意の他の適切な位置に取り付けられてもよい。

【0047】

より詳細には、図1～図4を全体的に参照すると、例示的なハイブリッド電気推進システム50は、一般的に、ターボ機械および主推進器（図2の実施形態では、ガスタービンエンジンとして、またはむしろターボファンエンジン100として共に構成されている）を有する第1の推進器アセンブリ52と、ターボ機械に駆動連結された電気機械56（図2に示す実施形態では電動モータ／発電機である）と、第2の推進器アセンブリ54（図3の実施形態では、電気推進器アセンブリ200として構成されている）と、電気エネルギー蓄積ユニット55（電気機械56および／または電気推進器アセンブリ200に電気的に接続可能）と、コントローラ72と、電力バス58と、を含む。電気推進器アセンブリ200、電気エネルギー蓄積ユニット55、および電気機械56はそれぞれ、電力バス58の1つまたは複数の電線60を介して互いに電氣的に接続可能である。例えば、電力バス58は、ハイブリッド電気推進システム50の様々な構成要素を選択的に電氣的に接続するように移動可能な様々なスイッチまたは他の電力エレクトロニクスを含むことができる。さらに、電力バス58は、ハイブリッド電気推進システム50内の電力を調整また

は変換するための、インバータ、コンバータ、整流器などの電力エレクトロニクスをさらに含むことができる。

【0048】

理解されるように、コントローラ72は、ハイブリッド電気推進システム50の様々な構成要素間に電力を分配するように構成されてもよい。例えば、コントローラ72は、電気機械56などの様々な構成要素に電力を供給するか、またはそこから電力を引き出して、種々の動作モード間でハイブリッド電気推進システム50を動作させ、様々な機能を実行するために、電力バス58（1つまたは複数のスイッチまたは他の電力エレクトロニクスを含む）と共に動作可能であってもよい。そのようなものは、コントローラ72を通して延在する電力バス58の電線60として概略的に示されており、以下でより詳細に説明する。

10

【0049】

コントローラ72は、ハイブリッド電気推進システム50に専用のスタンドアローンコントローラであってもよく、あるいは、航空機10のメインシステムコントローラ、例示的なターボファンエンジン100のための別個のコントローラ（例えば、F A D E Cとも呼ばれる、ターボファンエンジン100用の全機能デジタルエンジン制御システム）などの1つまたは複数の組み込まれてもよい。例えば、コントローラ72は、図12を参照して以下に説明される例示的なコンピューティングシステム600と実質的に同じ方法で構成されてもよい（以下で説明する例示的な方法300、400、500の1つまたは複数の機能を実行するように構成されてもよい）。

20

【0050】

さらに、電気エネルギー蓄積ユニット55は、1つまたは複数のリチウムイオン電池などの、1つまたは複数の電池として構成されてもよく、あるいは他の適切な電気エネルギー蓄積装置として構成されてもよい。本明細書に記載のハイブリッド電気推進システム50の場合、電気エネルギー蓄積ユニット55は、比較的大きな電力量を蓄積するように構成されていることが理解されよう。例えば、特定の例示的な実施形態では、電気エネルギー蓄積ユニットは、少なくとも約50キロワット時の電力、例えば、少なくとも約65キロワット時の電力、例えば、少なくとも約75キロワット時の電力、および最大約5,000キロワット時の電力を蓄積するように構成することができる。

【0051】

30

ここで特に図1および図2を参照すると、第1の推進器アセンブリ52は、航空機10の第1の翼部20に取り付けられる、または取り付けられるように構成されたガスタービンエンジンを含む。より具体的には、図2の実施形態では、ガスタービンエンジンは、ターボ機械102および推進器を含み、この推進器はファン（図2を参照して「ファン104」と呼ばれる）である。したがって、図2の実施形態では、ガスタービンエンジンは、ターボファンエンジン100として構成されている。

【0052】

ターボファンエンジン100は、軸方向A1（参照用に示されている長手方向中心線101に平行に延在する）および半径方向R1を規定する。上述したように、ターボファンエンジン100は、ファン104と、ファン104の下流に配置されたターボ機械102と、を含む。

40

【0053】

図示する例示的なターボ機械102は、一般に、環状入口108を画定する実質的に管状の外側ケーシング106を含む。外側ケーシング106は、直列の流れの関係で、ブースタもしくは低圧（LP）圧縮機110および高圧（HP）圧縮機112を含む圧縮機部と、燃焼部114と、第1の高圧（HP）タービン116および第2の低圧（LP）タービン118、ならびにジェット排気ノズル部120を収容する。圧縮機部、燃焼部114、およびタービン部は、共に、ターボ機械102を通るコア空気流路121を少なくとも部分的に画定する。

【0054】

50

ターボファンエンジン１００の例示的なターボ機械１０２は、タービン部の少なくとも一部、さらに図示する実施形態では、圧縮機部の少なくとも一部と共に回転可能な１つまたは複数のシャフトをさらに含む。より詳細には、図示する実施形態では、ターボファンエンジン１００は、ＨＰタービン１１６をＨＰ圧縮機１１２に駆動的に接続する高圧（ＨＰ）シャフトまたはスプール１２２を含む。さらに、例示的なターボファンエンジン１００は、ＬＰタービン１１８をＬＰ圧縮機１１０に駆動的に接続する低圧（ＬＰ）シャフトまたはスプール１２４を含む。

【００５５】

さらに、図２に示す例示的なターボ機械１０２は、アクティブクリアランス制御システム１６０をさらに含むことが理解されよう。具体的には、図３を簡単に参照すると、例示的なアクティブクリアランス制御システム１６０の拡大図が示されているが、図示した実施形態では、アクティブクリアランス制御システム１６０は、ターボ機械１０２のタービン部内に配置され、より具体的には、ターボ機械１０２のＨＰタービン１１６で動作可能である。図示した実施形態では、アクティブクリアランス制御システム１６０は、一般的に、概ね半径方向Ｒ１に沿って移動可能な作動部材１６２を含む。

【００５６】

理解されるように、アクティブクリアランス制御システム１６０は、一般的に、例えば、その中の１つまたは複数の構成要素の熱膨張にもかかわらず、タービン部内に所望のクリアランスを維持するように構成される。具体的には、図示するように、ＨＰタービン１１６は、一般的に、複数のＨＰタービンロータブレード１６４を含む。ＨＰタービンロータブレード１６４は、外側ライナー１６８とのクリアランス１６６を画定する半径方向外側先端部を画定し、外側ライナー１６８は、コア空気流路１２１を少なくとも部分的に画定する。アクティブクリアランス制御システム１６０は、作動部材１６２を半径方向Ｒ１に沿って動かすことによって、複数のＨＰタービンロータブレード１６４を取り囲むライナー１６８を半径方向内側または半径方向外側に移動させて、クリアランス１６６を増減させることができる。例えば、ターボ機械１０２の加速中にクリアランス１６６を増加させて、複数のＨＰタービンロータブレード１６４が、回転速度の上昇および／または温度の上昇に曝されることにより、半径方向Ｒ１に沿って膨張することを可能にすることが、一般的に望ましい場合がある。対照的に、ターボ機械１０２の効率を向上させるために、定常状態飛行動作条件でターボ機械１０２の動作中にクリアランス１６６を減少させることが一般的に望ましい場合がある。アクティブクリアランス制御システム１６０は、ＨＰタービン１１６で動作可能なものとして図示してあるが、他の例示的な実施形態では、例えば、ＬＰタービン１１８でさらに動作可能であってもよい。さらに、本開示の他の例示的な実施形態では、アクティブクリアランス制御システム１６０は、任意の他の適切な構成を有してもよい。

【００５７】

特に図２を再び参照すると、図示する例示的なファン１０４は、ディスク１３０に離間して結合された複数のファンブレード１２８を有する可変ピッチファンとして構成されている。図示するように、ファンブレード１２８は、ほぼ半径方向Ｒ１に沿ってディスク１３０から外向きに延在する。各ファンブレード１２８は、ファンブレード１２８のピッチを同時にまとめて変化させるように構成された適切な作動部材１３２に動作可能に結合されたファンブレード１２８により、それぞれのピッチ軸Ｐ１を中心としてディスク１３０に対して回転することができる。ファン１０４は、第２のＬＰタービン１１８によって機械的に駆動されるように、ＬＰシャフト１２４に機械的に連結される。より詳細には、ファン１０４は、ファンブレード１２８、ディスク１３０、および作動部材１３２を含み、動力ギヤボックス１３４を介してＬＰシャフト１２４に機械的に連結され、動力ギヤボックス１３４を横切るＬＰシャフト１２４によって長手方向軸１０１を中心に回転することができる。動力ギヤボックス１３４は、ＬＰシャフト１２４の回転速度をより効率的な回転ファン速度に低下させる複数のギヤを含む。したがって、ファン１０４は、ターボ機械１０２のＬＰシステム（ＬＰタービン１１８を含む）によって駆動される。

【0058】

さらに図2の例示的な実施形態を参照すると、ディスク130は、複数のファンブレード128を通る空気流を促進するために空気力学的に輪郭づけされた回転可能なフロントハブ136で覆われている。さらに、ターボファンエンジン100は、ファン104および／またはターボ機械102の少なくとも一部を円周方向に取り囲む環状のファンケーシングまたは外側ナセル138を含む。したがって、図示する例示的なターボファンエンジン100は、「ダクト付き」ターボファンエンジンと呼ばれることがある。さらに、ナセル138は、円周方向に離間した複数の出口ガイドベーン140によってターボ機械102に対して支持されている。ナセル138の下流側部分142は、ターボ機械102の外側部分の上に延在し、ターボ機械102の外側部分との間にバイパス空気流路144を画定する。

10

【0059】

引き続き図2を参照すると、ハイブリッド電気推進システム50は、図示する実施形態では電動モータ／発電機として構成される電気機械56をさらに含む。電気機械56は、図示した実施形態では、コア空気流路121の内側で、ターボファンエンジン100のターボ機械102内に配置され、ターボファンエンジン100のシャフトの1つと連結／機械的に連通される。より具体的には、図示する実施形態では、電気機械は、LPシャフト124を介して第2の、LPタービン118に連結される。電気機械56は、LPシャフト124の機械的動力を（LPシャフト124が電気機械56を駆動するように）電力に変換するように構成されてもよく、あるいは、電気機械56は、それに供給される電力を（電気機械56がLPシャフト124を駆動するか、または駆動するのを助けるように）LPシャフト124のための機械的動力に変換するように構成されてもよい。

20

【0060】

しかしながら、他の例示的な実施形態では、代わりに、電気機械56を、ターボ機械102内の他の任意の適切な位置または他の場所に配置することができることを理解されたい。例えば、電気機械56は、他の実施形態では、タービン部内のLPシャフト124と同軸に取り付けられてもよく、あるいは、LPシャフト124からオフセットされ、適切な歯車列を介して駆動されてもよい。それに加えて、またはその代わりに、他の例示的な実施形態では、電気機械56は、代わりに、HPシステムによって、すなわち、例えばHPシャフト122を介してHPタービン116によって、またはデュアル駆動システムを介してLPシステム（例えば、LPシャフト124）とHPシステム（例えば、HPシャフト122）の両方によって駆動されてもよい。それに加えて、またはその代わりに、他の実施形態では、電気機械56は、例えば、1つがLPシステム（例えば、LPシャフト124）に駆動接続され、1つがHPシステム（例えば、HPシャフト122）に駆動接続された複数の電気機械を含んでもよい。さらに、電気機械56は電動モータ／発電機として説明されているが、他の例示的な実施形態では、電気機械56は単に発電機として構成されてもよい。

30

【0061】

特に、特定の例示的な実施形態では、電気機械56は、ターボ機械102によって駆動されると、少なくとも約10キロワットの電力、例えば少なくとも約50キロワットの電力、例えば少なくとも約65キロワットの電力、例えば少なくとも約75キロワットの電力、例えば少なくとも約100キロワットの電力、例えば最大5000キロワットの電力を生成するように構成されてもよい。それに加えて、またはその代わりに、電気機械56に例えば電気エネルギー蓄積ユニット55から電力が供給されたときに、電気機械56は、少なくとも約15馬力の機械的動力をターボ機械102に提供するか、または加えるように構成することができる。例えば、特定の例示的な実施形態では、電気機械56は、少なくとも約50馬力、例えば少なくとも約75馬力、例えば少なくとも約100馬力、例えば少なくとも約120馬力、例えば最大約7000馬力の機械的動力をターボ機械102に提供するように構成されてもよい。

40

【0062】

50

さらに図1および図2を参照すると、ターボファンエンジン100は、コントローラ150および複数のセンサ（図示せず）をさらに含む。コントローラ150は、F A D E Cとも呼ばれる全機能デジタルエンジン制御システムであってもよい。ターボファンエンジン100のコントローラ150は、例えば、作動部材132、燃料供給システムなどの動作を制御するように構成することができる。さらに、図1に戻って参照すると、ターボファンエンジン100のコントローラ150は、ハイブリッド電気推進システム50のコントローラ72に動作可能に接続されている。さらに、理解されるように、コントローラ72は、適切な有線または無線通信システム（破線で描かれている）を介して、第1の推進器アセンブリ52（コントローラ150を含む）、電気機械56、第2の推進器アセンブリ54、およびエネルギー蓄積ユニット55のうちの1つまたは複数に、さらに動作可能に接続されている。

10

【0063】

さらに、図示していないが、特定の例示的な実施形態では、ターボファンエンジン100は、ターボファンエンジン100の1つまたは複数の動作パラメータを示すデータを検出するように配置され、構成された1つまたは複数のセンサをさらに含むことができる。例えば、ターボファンエンジン100は、ターボ機械102のコア空気流路121内の温度を検出するように構成された1つまたは複数の温度センサを含むことができる。それに加えて、またはその代わりに、ターボファンエンジン100は、燃焼部114の出口で排気ガス温度を検出するように構成された1つまたは複数のセンサを含むことができる。それに加えて、またはその代わりに、ターボファンエンジン100は、ターボ機械102の燃焼部114内の燃焼器内など、ターボ機械102のコア空気流路121内の圧力を示すデータを検出するように構成された1つまたは複数の圧力センサを含むことができる。さらに、他の例示的な実施形態では、ターボファンエンジン100は、L Pスプール124またはH Pスプール122のうちの1つまたは複数などの、ターボファンエンジン100の1つまたは複数の構成要素の回転速度を示すデータを検出するように構成された1つまたは複数の速度センサを含むことができる。

20

【0064】

図2に示す例示的なターボファンエンジン100は、他の例示的な実施形態では、任意の他の適切な構成を有してもよいことをさらに理解されたい。例えば、他の例示的な実施形態では、ファン104は可変ピッチのファンでなくてもよく、さらに他の実施形態では、L Pシャフト124はファン104に直接機械的に連結されてもよい（すなわち、ターボファンエンジン100は、ギヤボックス134を含まなくてもよい）。さらに、他の例示的な実施形態では、ターボファンエンジン100は、任意の他の適切なガスタービンエンジンとして構成されてもよいことを理解されたい。例えば、他の実施形態では、ターボファンエンジン100は、代わりに、ターボプロップエンジン、ダクトのないターボファンエンジン、ターボジェットエンジン、ターボシャフトエンジンなどとして構成されてもよい。

30

【0065】

ここで特に図1および図4を参照すると、先に述べたように、例示的なハイブリッド電気推進システム50は、図示した実施形態では、航空機10の第2の翼部22に取り付けられた第2の推進器アセンブリ54をさらに含む。特に図4を参照すると、第2の推進器アセンブリ54は、一般に、電動モータ206および推進器／ファン204を含む電気推進器アセンブリ200として構成される。電気推進器アセンブリ200は、半径方向R2と同様に、参照のために電気推進器アセンブリ200を通して延びる長手方向中心線軸202に沿って延びる軸方向A2を画定する。図示する実施形態では、ファン204は、電動モータ206によって中心線軸202を中心に回転可能である。

40

【0066】

ファン204は、複数のファンブレード208およびファンシャフト210を含む。複数のファンブレード208は、ファンシャフト210に取り付けられ、それと共に回転可能であり、概ね電気推進器アセンブリ200（図示せず）の円周方向に沿って離間してい

50

る。特定の例示的な実施形態では、複数のファンブレード208は、固定されてファンシャフト210に取り付けられてもよく、あるいは、複数のファンブレード208は、図示した実施形態のように、ファンシャフト210に対して回転可能であってもよい。例えば、複数のファンブレード208はそれぞれのピッチ軸P2を各々画定し、図示する実施形態では、複数のファンブレード208の各々のピッチが例えばピッチ変更機構211によって一斉に変更されるようにファンシャフト210に取り付けられている。複数のファンブレード208のピッチを変更することにより、第2の推進器アセンブリ54の効率を向上させることができ、および／または第2の推進器アセンブリ54が所望の推力プロファイルを達成することを可能にすることができる。そのような例示的な実施形態では、ファン204を可変ピッチファンと呼ぶことができる。

10

【0067】

さらに、図示する実施形態では、図示する電気推進器アセンブリ200は、1つまたは複数のストラットまたは出口ガイドベーン216を介して電気推進器アセンブリ200のコア214に取り付けられたファンケーシングまたは外側ナセル212をさらに含む。図示する実施形態では、外側ナセル212は、ファン204、特に複数のファンブレード208を実質的に完全に取り囲んでいる。したがって、図示する実施形態では、電気推進器アセンブリ200をダクト付き電動ファンと呼ぶことができる。

【0068】

引き続き特に図4を参照すると、ファンシャフト210は、コア214内の電動モータ206に機械的に連結され、電動モータ206がファンシャフト210を介してファン204を駆動する。ファンシャフト210は、1つまたは複数のローラベアリング、ボールベアリング、または任意の他の適切なベアリングなどの1つまたは複数のベアリング218によって支持される。さらに、電動モータ206は、インランナー電動モータ（すなわち、ステータの半径方向内側に配置されたロータを含む）であってもよく、あるいは、アウトランナー電動モータ（すなわち、ロータの半径方向内側に配置されたステータを含む）であってもよいし、あるいは、軸方向磁束電動モータ（すなわち、ロータがステータの外側でもなくステータの内側でもなく、むしろ電動モータの軸に沿ってステータからオフセットされている）であってもよい。

20

【0069】

上述したように、電源（例えば、電気機械56または電気エネルギー蓄積ユニット55）は、電気推進器アセンブリ200に電力を供給するために、電気推進器アセンブリ200（すなわち、電動モータ206）と電氣的に接続される。より詳細には、電動モータ206は、電力バス58を介して、より具体的には、それらの間に延在する1つまたは複数の電気ケーブルまたは電線60を介して、電気機械56および／または電気エネルギー蓄積ユニット55と電氣的に連通している。

30

【0070】

しかし、他の例示的な実施形態では、例示的なハイブリッド電気推進システム50は、他の任意の適切な構成を有してもよく、さらに、他の任意の適切な方法で航空機10に組み込まれてもよいことを理解されたい。例えば、他の例示的な実施形態では、代わりに、ハイブリッド電気推進システム50の電気推進器アセンブリ200を、複数の電気推進器アセンブリ200として構成することができ、かつ／またはハイブリッド電気推進システム50は、複数のガスタービンエンジン（ターボファンエンジン100など）および電気機械56をさらに含んでもよい。

40

【0071】

さらに、他の例示的な実施形態では、電気推進器アセンブリ200および／またはガスタービンエンジンおよび電気機械56は、航空機10に任意の他の適切な方法（例えば、テールマウント構成を含む）で任意の他の適切な位置に配置することができる。例えば、特定の例示的な実施形態では、電気推進器アセンブリは、境界層空気を取り込み、そのような境界層空気に再びエネルギーを与えて、航空機に推進力の利益を提供するように構成することができる（推進力の利益は、推力であってもよいし、単純に航空機の抗力を減少

50

させることによって航空機の全体の正味の推力を増加させることであってもよい)。

【0072】

さらに、他の例示的な実施形態では、例示的なハイブリッド電気推進システム50は、さらに他の構成を有してもよい。例えば、他の例示的な実施形態では、ハイブリッド電気推進システム50は、「純粋な」電気推進器アセンブリを含まなくてもよい。例えば、図5を簡単に参照すると、本開示のさらに別の例示的な実施形態によるハイブリッド電気推進システム50の概略図が示されている。図5に示す例示的なハイブリッド電気推進システム50は、図1から図4を参照して上述した1つまたは複数の例示的なハイブリッド電気推進システム50と同様に構成することができる。

【0073】

例えば、図5の例示的なハイブリッド電気推進システム50は、一般に、第1の推進器アセンブリ52および第2の推進器アセンブリ54を含む。第1の推進器アセンブリは、一般に、第1のターボ機械102Aおよび第1の推進器104Aを含み、同様に、第2の推進器アセンブリ54は、一般に、第2のターボ機械102Bおよび第2の推進器104Bを含む。第1および第2のターボ機械102A、102Bの各々は、一般に、低圧シャフト124を介して低圧タービン118に駆動連結された低圧圧縮機110と、高圧シャフト122を介して高圧タービン116に駆動連結された高圧圧縮機112を有する高圧システム(時にはターボ機械の「コア」とも呼ばれる)と、を含む。さらに、第1の推進器104Aは、第1のターボ機械102Aの低圧システムに駆動連結され、第2の推進器104Bは、第2のターボ機械102Bの低圧システムに駆動連結される。いくつかの例示的な実施形態では、第1の推進器104Aおよび第1のターボ機械102Aは第1のターボファンエンジンとして構成されてもよく、同様に、第2の推進器104Bおよび第2のターボ機械102Bは第2のターボファンエンジンとして(例えば、図2の例示的なターボファンエンジン100と同様に)構成されてもよい。あるいは、しかし、これらの構成要素は、代わりに、ターボプロップエンジンまたは任意の他の適切なターボ機械駆動の推進装置の一部として構成されてもよい。さらに、特定の例示的な実施形態では、第1の推進器アセンブリ52は航空機の第1の翼部に取り付けられてもよく、第2の推進器アセンブリ54は航空機の第2の翼部に取り付けられてもよい(例えば、図1の例示的な実施形態と同様に)。もちろん、他の例示的な実施形態では、任意の他の適切な構成が提供されてもよい(例えば、両方が同じ翼部に取り付けられてもよいし、一方または両方が航空機の尾部に取り付けられてもよい)。

【0074】

さらに、図5のハイブリッド電気推進システム50は、電気システムをさらに含む。電気システムは、第1の電気機械56Aと、第2の電気機械56Bと、第1の電気機械56Aおよび第2の電気機械56Bに電氣的に接続可能な電気エネルギー蓄積ユニット55と、を含む。第1の電気機械56Aは、第1のターボ機械102Aにさらに連結される。より具体的には、図示した実施形態では、第1の電気機械56Aは、第1のターボ機械102Aの高圧システムに連結され、より具体的には、第1のターボ機械102Aの高圧スプール122に連結される。このようにして、第1の電気機械56Aは、第1のターボ機械102Aの高圧システムから動力を取り出し、および/または第1のターボ機械102Aの高圧システムに動力を供給することができる。

【0075】

さらに、図示した実施形態では、第2の推進器アセンブリ54は、純粋な電気推進器アセンブリとして構成されていないことが理解されよう。代わりに、第2の推進器アセンブリ54は、ハイブリッド電気推進器の一部として構成されている。より詳細には、第2の電気機械56Bは、第2の推進器104Bに連結され、さらに、第2のターボ機械102Bの低圧システムに連結される。このようにして、第2の電気機械56Bは、第2のターボ機械102Bの低圧システムから動力を取り出し、および/または第1のターボ機械102Aの低圧システムに動力を供給することができる。より詳細には、特定の例示的な態様では、第2の電気機械56Bは、第2の電気機械56Bが第2のターボ機械102B、

10

20

30

40

50

または第2の推進器104B、またはその両方に動力を供給できるように、第2の推進器104Bを駆動するか、または駆動することを補助することができる。

【0076】

図5にも示すように、例示的なハイブリッド電気推進システム50は、コントローラ72および電力バス58をさらに含む。第1の電気機械56A、第2の電気機械56B、および電気エネルギー蓄積ユニット55は、それぞれ、電力バス58の1つまたは複数の電線60を介して互いに電氣的に接続可能である。例えば、電力バス58は、ハイブリッド電気推進システム50の様々な構成要素を選択的に電氣的に接続するように、および任意選択的に、それを介して伝達されるそのような電力を変換もしくは調整するように移動可能な様々なスイッチまたは他の電力エレクトロニクスを含むことができる。

10

【0077】

さらに、他の例示的な実施形態では、例示的なハイブリッド電気推進システム50が他の適切な構成を有してもよいことを理解されたい。例えば、図5の例示的な実施形態は、第1のターボ機械102Aの高圧システムに連結された第1の電気機械56Aと、第2のターボ機械102Bの低圧システムに連結された第2の電気機械56Bと、を含むが、他の例示的な実施形態では、電気機械56A、56Bの各々は、低圧システムに連結されてもよく、あるいは、高圧システムに連結されてもよい。あるいは、他の例示的な実施形態では、電気システムは、第1のターボ機械102Aの低圧システムに連結された追加の電気機械、および／または第2のターボ機械102Bの高圧システムに連結された追加の電気機械をさらに含むことができる。

20

【0078】

ここで図6を参照すると、航空機のハイブリッド電気推進システムを動作させるための方法300の流れ図が示されている。方法300は、一般に、図1～図5を参照して上述した例示的なハイブリッド電気推進システムの1つまたは複数で動作可能であり得る。例えば、ハイブリッド電気推進システムは、一般に、ターボ機械、ターボ機械に連結された推進器、および電気システムを含み、電気システムは、ターボ機械に連結された電気機械および電気エネルギー蓄積ユニットを含む。電気エネルギー蓄積ユニットは、電気機械に電氣的に接続可能であってもよい。

【0079】

図示するように、方法300は、1つまたは複数のコンピューティングデバイスによって、ターボ機械が推進器を回転させるようにターボ機械を動作させるステップ(302)を含む。以下でより詳細に説明するように、方法300は、ステップ(302)において飛行動作条件(例えば、定常状態飛行動作条件、図7～図9を参照)の間に推力を生成するために推進器を回転させることができ、または方法300は、ステップ(302)において最小量の推力を生成するためにアイドル動作条件の間に推進器を回転させることができる(図10および図11を参照)。

30

【0080】

方法300は、1つまたは複数のコンピューティングデバイスによって、ステップ(302)でターボ機械を動作させている間にターボ機械を加速するためのコマンドを受信するステップ(304)と、ステップ(304)でターボ機械を加速するための受信したコマンドに応答して、ターボ機械、または推進器、またはその両方に動力を加えるために、1つまたは複数のコンピューティングデバイスによって電力を電気機械に供給するステップ(306)と、をさらに含む。

40

【0081】

上述の方法300は、多数のシナリオに適用することができる(例えば、図6～図11を参照して以下の説明を参照)。それにもかかわらず、しかしながら、それはより応答性の高い推進システムを提供することができ、および／またはターボ機械がより効率的に動作することを可能にすることができる。

【0082】

例えば、図7を参照すると、航空機のハイブリッド電気推進システムを動作させるため

50

の方法４００の流れ図が示されている。方法４００は、図６を参照して上述した例示的な方法３００と同様であり、したがって、一般に、図１～図５を参照して上述した例示的なハイブリッド電気推進システムの１つまたは複数で動作可能であり得る。例えば、ハイブリッド電気推進システムは、一般に、ターボ機械、ターボ機械に連結された推進器、および電気システムを含み、電気システムは、ターボ機械に連結された電気機械および（任意選択的に）電気エネルギー蓄積ユニットを含む。電気エネルギー蓄積ユニットは、電気機械に電氣的に接続可能であってもよい。

【００８３】

図示するように、方法４００は、ターボ機械が推進器を回転させるようにターボ機械を１つまたは複数のコンピューティングデバイスによって動作させるステップを含み、より具体的には、１つまたは複数のコンピューティングデバイスによって、ターボ機械を定常状態飛行動作条件で動作させるステップ（４０２）を含む。例えば、少なくとも特定の例示的な態様では、１つまたは複数のコンピューティングデバイスによって、定常状態飛行動作条件でターボ機械を動作させるステップ（４０２）は、１つまたは複数のコンピューティングデバイスによって、巡航動作条件でターボ機械を動作させるステップを含む。

【００８４】

特に、そのような定常状態飛行動作条件の間、ハイブリッド電気推進システムは、一般に、その構成要素間に電力を分配するように動作可能であり得る。例えば、図７に示す方法４００の例示的な態様では、１つまたは複数のコンピューティングデバイスによって、定常状態飛行動作条件でターボ機械を動作させるステップ（４０２）は、１つまたは複数のコンピューティングデバイスによって、電気機械から電力を抽出するステップ（４０４）をさらに含む。より具体的には、図示した例示的な態様では、１つまたは複数のコンピューティングデバイスによって、電気機械から電力を抽出するステップ（４０４）は、１つまたは複数のコンピューティングデバイスによって、電気機械から電気エネルギー蓄積ユニットに電力を抽出するステップ（４０６）を含む。

【００８５】

さらに、上記の説明から理解されるように、少なくとも特定の例示的な態様では、ハイブリッド電気推進システムは、複数の電気機械および／または推進器をさらに含むことができる。例えば、特定の例示的な態様では、電気機械は第１の電気機械であり、推進器は第１の推進器であり、ハイブリッド電気推進システムは第２の推進器をさらに含んでもよく、電気システムは、第２の推進器に連結された第２の電気機械をさらに含んでもよい。このような例示的な態様では、１つまたは複数のコンピューティングデバイスによって、電気機械から電力を抽出するステップ（４０４）は、破線で示すように、１つまたは複数のコンピューティングデバイスによって、第１の電気機械から電気エネルギー蓄積ユニット、または第２の電気機械、またはその両方に電力を抽出するステップ（４０８）をさらに含むことができる。例えば、特定の例示的な態様では、１つまたは複数のコンピューティングデバイスによって、電気機械から電力を抽出するステップ（４０８）は、１つまたは複数のコンピューティングデバイスによって、第１の電気機械から第２の電気機械に電力を抽出するステップをさらに含むことができる。

【００８６】

さらに、方法４００の例示的な態様を参照すると、方法４００は、１つまたは複数のコンピューティングデバイスによって、ターボ機械を加速するためのコマンドを受信するステップをさらに含み、より具体的には、ステップ（４０２）において定常状態飛行動作条件でターボ機械を動作させている間に、１つまたは複数のコンピューティングデバイスによって、ターボ機械を加速するためのコマンドを受信するステップ（４１０）を含む。例えば、図示した例示的な態様などの、少なくとも特定の例示的な態様では、定常状態飛行動作条件でターボ機械を動作させている間に、１つまたは複数のコンピューティングデバイスによって、ターボ機械を加速するためのコマンドを受信するステップ（４１０）は、１つまたは複数のコンピューティングデバイスによって、ステップ上昇操作を実行するためのコマンドを受信するステップ（４１２）を含むことができる。理解されるように、ス

テップ上昇操作は、一般に、第1の高度を巡航する航空機を第2のより高い高度に上げるための飛行動作中の操作を指す。直前の巡航動作の間に必要とされる推力の量と比較して、そのような操作を実行するためには、増加した推力量が一般的に必要とされる。

【0087】

さらに、図示した方法400の例示的な態様は、ターボ機械を加速するための受信したコマンドに応答して、ターボ機械、または推進器、またはその両方に動力を加えるために、1つまたは複数のコンピューティングデバイスによって電力を電気機械に供給するステップをさらに含み、より具体的には、ステップ(410)でターボ機械を加速するための受信したコマンドに応答して、ターボ機械、または推進器、またはその両方に動力を加えるために、1つまたは複数のコンピューティングデバイスによって電力を電気機械に供給するステップ(414)を含む。特に、ステップ(414)での電気機械への電力の供給は、そのような動力をターボ機械、または推進器、またはその両方に加えることによって、ターボ機械の加速を増加させる(または推進器によって生成される増加した推力を提供する)ことができ、ステップ(410)で受信したターボ機械を加速するためのコマンドに
10 応答して、電気機械の実質的に瞬間的な有効な動力増加を提供することができる。

【0088】

図示した例示的な態様では、1つまたは複数のコンピューティングデバイスによって、電気機械に電力を供給するステップ(414)は、1つまたは複数のコンピューティングデバイスによって、電気エネルギー蓄積ユニットから電気機械に電力を供給するステップ(416)を含む。より具体的には、図示した例示的な態様では、1つまたは複数のコンピューティングデバイスによって、電気エネルギー蓄積ユニットから電気機械に電力を供給するステップ(414)は、1つまたは複数のコンピューティングデバイスによって、電気機械を用いて少なくとも約15馬力の機械的動力をターボ機械、または推進器、またはその両方に供給するステップ(418)を含む(本明細書で使用されるように、ターボ機械と推進器の「両方」に供給される場合に、供給される動力の量は、電気機械によってターボ機械および推進器に供給されるすべての動力の合計である)。このようにして、方法400は、一般に、ステップ(410)で定常状態飛行動作条件でターボ機械を動作させている間に、ターボ機械を加速するためのコマンドに
20 応答して、所望の加速を提供することができる。

【0089】

特に、少なくとも特定の例示的な態様では、ターボ機械を加速するための受信したコマンドに
30 応答して、ターボ機械、または推進器、またはその両方に動力を加えるために、1つまたは複数のコンピューティングデバイスによって電力を電気機械に供給するステップ(414)は、電気機械に実質的に一定／一貫した電力量を供給するステップを含むことができる。しかしながら、ここで図7の方法400の例示的な態様の流れ図を示す図8を簡単に参照すると、図示した例示的な態様などの、他の例示的な態様では、1つまたは複数のコンピューティングデバイスによって、電気機械に電力を供給するステップ(414)は、1つまたは複数のコンピューティングデバイスによって、電気機械に供給される電力量を変調するステップ(415)を含む。より具体的には、図8に示す方法400の例示的な態様は、1つまたは複数のコンピューティングデバイスによって、ターボ機械の動作パラメータを示すデータを受信するステップ(420)をさらに含み、1つまたは複数のコンピューティングデバイスによって、電気機械に供給される電力量を変調するステップ(415)は、ターボ機械の動作パラメータを示す受信データに少なくとも部分的に基づいて、1つまたは複数のコンピューティングデバイスによって、電気機械に供給される電力量を変調するステップ(421)をさらに含む。例えば、このような方法で、方法400は、電気機械が所望の回転速度、または所望の出力に近づくにつれて、電気機械に供給される電力量を低減することができる。

【0090】

特定の例示的な態様では、ターボ機械の動作パラメータは、ターボ機械の1つまたは複数の構成要素の回転速度パラメータ、例えば回転速度、または回転加速度、またはこれら
40 50

の組み合わせであってもよい。あるいは、ターボ機械の動作パラメータは、ターボ機械内の温度（排気ガス温度など）、ターボ機械内の圧力、ターボ機械の燃焼部への燃料流量などの、任意の他の適切な動作パラメータであってもよい。

【0091】

しかしながら、他の例示的な態様では、方法400は、任意の他の適切なパラメータに基づいて、ステップ（415）で電気機械に供給される電力量を変調してもよい。例えば、図8に破線で示すように、他の例示的な態様では、方法400は、1つまたは複数のコンピューティングデバイスによって、電気エネルギー蓄積ユニットの充電状態を示すデータを受信するステップ（422）をさらに含むことができる。このような例示的な態様では、1つまたは複数のコンピューティングデバイスによって、電気機械に供給される電力量を変調するステップ（415）は、破線で示すように、電気エネルギー蓄積ユニットの充電状態を示す受信データに少なくとも部分的に基づいて、1つまたは複数のコンピューティングデバイスによって、電気機械に供給される電力量を変調するステップ（423）をさらに含むことができる。例えば、方法400は、例えば、電気エネルギー蓄積ユニットの充電レベルが特定のしきい値を下回ったとき、または特定のしきい値に近づいたときに、電気機械に供給される電力量を低減することができる。

【0092】

図7に戻ると、上述したように、方法400は、一般に、ステップ（410）において定常状態飛行動作条件でターボ機械を動作させている間にターボ機械を加速するためのコマンドが受信されると、実質的に即時の加速応答を提供するように動作可能であり得る。したがって、ターボ機械は、定常状態飛行動作条件でより効率的に動作することが可能になり得る。より詳細には、図7の例示的な態様では、ターボ機械は、アクティブクリアランス制御システムをさらに含む。アクティブクリアランス制御システムは、ターボ機械の動作中にターボ機械のタービン部内の1つまたは複数のタービンロータブレードと外側流路ライナーとの間のクリアランスを変更することができる。通常、定常状態飛行動作条件で動作する場合は、必要に応じてターボ機械の比較的速い加速を可能にするために、効率の点で望ましい場合よりもクリアランスが大きく維持される。例えば、理解されるように、定常状態動作条件からのターボ機械の加速は、タービンロータブレードの回転速度を増加させ、タービンロータブレードおよび他の構成要素が曝される温度を上昇させ、結果として、タービンロータブレードおよび特定の他の構成要素の膨張をもたらす。このような膨張に対応するために、比較的大きなクリアランスが維持される。しかし、本開示のハイブリッド電気推進システム、より具体的にはターボ機械に連結された電気機械が、所望される実質的に即時の加速応答を提供することができれば、アクティブクリアランス制御システムは、タービンロータブレードと、例えばタービン部内の外側流路ライナーとの間に比較的狭いクリアランスを維持するように動作することができる。例えば、図示した方法400の例示的な態様では、アクティブクリアランス制御システムは、所望の比較的狭いクリアランスを維持することができ、（例えば、ステップ（410）で）ターボ機械を加速するためのコマンドを受信することに応答して、電気機械を介して所望される即時の動力応答を提供し、アクティブクリアランス制御システムに、ターボ機械が燃焼により加速するのを可能にするのに十分なクリアランス（すなわち、緩められる）を増加させる時間を与えることができる。

【0093】

したがって、図示した方法400の例示的な態様では、方法400は、ステップ（410）でターボ機械を加速するための受信したコマンドに応答して、アクティブクリアランス制御システムを使用して、1つまたは複数のコンピューティングデバイスによってターボ機械内の1つまたは複数のクリアランスを増加させるステップ（424）をさらに含む。1つまたは複数のクリアランスは、例えば、ターボ機械の高圧タービン（および／または低圧タービン）内のタービンロータブレードのクリアランスであってもよい。具体的には、図示した実施形態の例示的な態様では、アクティブクリアランス制御システムを使用して、1つまたは複数のコンピューティングデバイスによってターボ機械内の1つまたは

複数のクリアランスを増加させるステップ（４２４）は、１つまたは複数のコンピューティングデバイスによって、電気機械に電力を供給するステップ（４１４）と実質的に同時に、アクティブクリアランス制御システムを使用して、１つまたは複数のコンピューティングデバイスによって、ターボ機械内の１つまたは複数のクリアランスを増加させるステップ（４２６）を含む。さらに、このような例示的な態様では、アクティブクリアランス制御システムを使用して、１つまたは複数のコンピューティングデバイスによってターボ機械内の１つまたは複数のクリアランスを増加させるステップ（４２４）は、１つまたは複数のコンピューティングデバイスによって、ターボ機械の燃焼部への燃料流量を初期時間にわたって実質的に一定に維持するステップ（４２８）をさらに含む。特に、本明細書で使用される場合、「実質的に一定」という用語は、初期値から５％未満の変動を指すことができる。例えば、少なくとも特定の例示的な態様では、１つまたは複数のコンピューティングデバイスによって、ターボ機械の燃焼部への燃料流量を初期時間にわたって実質的に一定に維持するステップ（４２８）は、それに応じてターボ機械の高圧システムの回転速度を初期時間にわたって実質的に一定に維持するステップ、および／またはターボ機械の特定のセクション内の温度（例えば、排気ガス温度）を初期時間にわたって実質的に一定に維持するステップを含むことができる。

10

【００９４】

この初期時間は、アクティブクリアランス制御システムがターボ機械の高圧システムを加速させるのに十分なほど緩くなるのに十分な時間量であってもよい。例えば、特定の例示的な態様では、初期期間は少なくとも約２秒、例えば少なくとも約５秒、例えば約１０秒まで、例えば約５分までであってもよい。

20

【００９５】

さらに、図９を簡単に参照すると、方法４００の例示的な態様の別のフローチャートが示されており、方法４００は、ターボ機械を加速するための受信したコマンドにตอบสนองして、ターボ機械、または推進器、またはその両方に電力を加えるために、ステップ（４１４）で電気機械に供給される供給電力を、１つまたは複数のコンピューティングデバイスによって終了させるステップ（４３０）をさらに含む。より具体的には、図示した例示的な態様では、１つまたは複数のコンピューティングデバイスによって、電気機械に供給される電力の供給を終了させるステップ（４３０）は、ステップ（４２０）におけるターボ機械の動作パラメータを示す受信データに少なくとも部分的に基づいて、ステップ（４１４）における電気機械に供給される電力の供給を、１つまたは複数のコンピューティングデバイスによって終了させるステップ（４３２）を含む。例えば、方法４００は、ターボ機械が所望の速度で回転しているか、または所望の出力レベルを操作しているかを判定し、このような判定に基づいて電気機械への電力の供給を終了させる。

30

【００９６】

あるいは、しかしながら、他の例示的な態様では、方法４００は、任意の他の適切な判定に基づいて電気機械への供給電力を終了させることができる。例えば、他の例示的な態様では、１つまたは複数のコンピューティングデバイスによって、電気機械に供給される電力の供給を終了させるステップ（４３０）は、破線で示すように、ステップ（４２２）における電気エネルギー蓄積ユニットの充電状態を示す受信データに少なくとも部分的に基づいて、ステップ（４１４）における電気機械に供給される供給電力を、１つまたは複数のコンピューティングデバイスによって終了させるステップ（４３４）を含むことができる。例えば、方法４００は、電気エネルギー蓄積ユニットの充電レベルが所定のしきい値を下回っているか、または所定のしきい値に近づいていることを判定し、その判定に基づいて電気機械への供給電力を終了させることができる。

40

【００９７】

上述の例示的な態様の１つまたは複数にしたがってハイブリッド電気推進システムを動作させることにより、全体的により効率的なハイブリッド電気推進システム、より具体的には、より効率的なターボ機械を提供することができる。

【００９８】

50

ここで図10を参照すると、本開示の別の例示的な態様による、航空機のハイブリッド電気推進システムを動作させるための方法500の流れ図が示されている。方法500は、図6を参照して上述した例示的な方法300と同様であり、したがって、一般に、図1～図5を参照して上述した例示的なハイブリッド電気推進システムの1つまたは複数で動作可能であり得る。例えば、ハイブリッド電気推進システムは、一般に、ターボ機械、ターボ機械に連結された推進器、および電気システムを含み、電気システムは、ターボ機械に連結された電気機械および電気エネルギー蓄積ユニットを含む。電気エネルギー蓄積ユニットは、電気機械に電氣的に接続可能であってもよい。

【0099】

図示するように、方法500は、ターボ機械が推進器を回転させるようにターボ機械を1つまたは複数のコンピューティングデバイスによって動作させるステップを含み、より具体的には、1つまたは複数のコンピューティングデバイスによって、ターボ機械をアイドリング動作条件で動作させるステップ(502)を含む。例えば、少なくとも特定の例示的な態様では、1つまたは複数のコンピューティングデバイスによって、ターボ機械をアイドリング動作条件で動作させるステップ(502)は、航空機を地上走行させるステップ、離陸のために航空機を配置するステップ、離陸のための位置(または何らかの他の静止位置)に航空機を保持するステップなどを含むことができる。

【0100】

さらに、方法500は、1つまたは複数のコンピューティングデバイスによって、ターボ機械を動作させている間にターボ機械を加速するためのコマンドを受信するステップを含み、より具体的には、ステップ(502)においてアイドリング動作条件でターボ機械を動作させている間に、1つまたは複数のコンピューティングデバイスによって、ターボ機械を加速するためのコマンドを受信するステップ(504)を含む。図示した方法500の例示的な態様では、アイドリング動作条件でターボ機械を動作させている間に、1つまたは複数のコンピューティングデバイスによって、ターボ機械を加速するためのコマンドを受信するステップ(504)は、ステップ(502)においてアイドリング動作条件でターボ機械を動作させている間に、推力増加コマンド(すなわち、ターボ機械の推力増加コマンド)を1つまたは複数のコンピューティングデバイスによって受信するステップ(506)を含み、より具体的には、ステップ(502)においてアイドリング動作条件でターボ機械を動作させている間に、ターボ機械を離陸出力レベルまで加速するためのコマンドを1つまたは複数のコンピューティングデバイスによって受信するステップ(508)を含む。ステップ(506)で受信した推力増加コマンドおよび/またはステップ(508)で受信したターボ機械を離陸出力まで加速するためのコマンドは、例えば、スロットルまたは他の入力装置を介して航空機の飛行乗務員から提供されてもよい。

【0101】

さらに、方法500は、ターボ機械を加速するための受信したコマンドに応答して、ターボ機械、または推進器、またはその両方に動力を加えるために、1つまたは複数のコンピューティングデバイスによって電気機械に電力を供給するステップを含み、より具体的には、ステップ(504)で受信したターボ機械を加速するためのコマンドに応答して、ターボ機械に動力を加えてターボ機械の加速を増加させるために、1つまたは複数のコンピューティングデバイスによって電気機械に電力を供給するステップ(510)を含む。図示した例示的な態様では、1つまたは複数のコンピューティングデバイスによって、電気機械に電力を供給するステップ(510)は、1つまたは複数のコンピューティングデバイスによって、電気エネルギー蓄積ユニットから電気機械に電力を供給するステップ(512)を含む。より具体的には、図示した例示的な態様では、1つまたは複数のコンピューティングデバイスによって、電気機械に電力を供給するステップ(510)は、1つまたは複数のコンピューティングデバイスによって、電気機械を用いて少なくとも約15馬力の機械的動力をターボ機械に供給するステップ(516)を含む。例えば、少なくとも特定の例示的な態様では、1つまたは複数のコンピューティングデバイスによって、電気機械に電力を供給するステップ(510)は、少なくとも約125馬力、例えば少なく

10

20

30

40

50

とも約150馬力、例えば最大約5,000馬力を供給するステップをさらに含むことができる。

【0102】

特に、図示した例示的な態様では、方法500は、ステップ(510)における電気機械への電力の供給と実質的に同時に、1つまたは複数のコンピューティングデバイスによって、ターボ機械の燃焼部への燃料流量を増加させるステップ(517)をさらに含む。例えば、本明細書で使用される場合、「実質的に同時に」という用語は、互いに約30秒以内、例えば互いに約15秒以内、例えば互いに約5秒以内、例えば互いに約2秒以内などを指すことができる。

【0103】

さらに、図10に示す方法500の例示的な態様では、1つまたは複数のコンピューティングデバイスによって、電気機械に電力を供給するステップ(510)は、1つまたは複数のコンピューティングデバイスによって、電気機械に供給される電力量を変調するステップ(518)をさらに含むことを理解されたい。例えば、方法500は、1つまたは複数の電力エレクトロニクスまたは他の適切な構成要素を介して、例えば電気エネルギー蓄積ユニットから電気機械に供給される電力量を変調(すなわち増加または減少)させることができる。

【0104】

より具体的には、図11を参照すると、図示した例示的な態様について示された方法500のより詳細な例示的な態様の流れ図が示されており、この方法は、1つまたは複数のコンピューティングデバイスによって、ターボ機械の回転速度パラメータを示すデータを受信するステップ(520)をさらに含む。ターボ機械の回転速度パラメータは、ターボ機械の1つまたは複数の構成要素の回転速度、またはターボ機械の1つまたは複数の構成要素の加速、またはその2つの組み合わせであってもよい。また、1つまたは複数の構成要素は、例えば、ターボ機械の高圧スプールまたはターボ機械の低圧スプールであってもよい。したがって、図示した例示的な態様では、1つまたは複数のコンピューティングデバイスによって、電気機械に供給される電力量を変調するステップ(518)は、ステップ(520)で受信したターボ機械の回転速度パラメータを示すデータに少なくとも部分的に基づいて、1つまたは複数のコンピューティングデバイスによって、電気機械に供給される電力量を変調するステップ(522)をさらに含む。

【0105】

しかしながら、他の例示的な態様では、方法500は、代わりに、任意の他の適切な指標に基づいて、ステップ(518)で電気機械に供給される電力量を変調することができることを理解されたい。例えば、ターボ機械の現在の動作条件(例えば、ステップ(532)を参照)に基づいて、電気機械に供給される電力量を変調するステップに加えて、方法500は、それに加えて、またはその代わりに、ステップ(518)において推力が所望される緊急性を示す方法で電気機械に供給される電力量を変調することができる。例えば、前述したように、特定の例示的な態様では、1つまたは複数のコンピューティングデバイスによって、ターボ機械を加速するためのコマンドを受信するステップ(504)は、1つまたは複数のコンピューティングデバイスによって、推力増加コマンドを受信するステップ(506)を含むことができる。さらに、破線で示すように、少なくとも特定の例示的な態様では、方法500は、1つまたは複数のコンピューティングデバイスによって、命令された推力増加の変化率(例えば、どれくらい迅速に/増加した推力が望まれる緊急性を示す)を決定するステップ(524)をさらに含むことができる。このような例示的な態様では、1つまたは複数のコンピューティングデバイスによって、電気機械に供給される電力量を変調するステップ(518)は、ステップ(524)で決定された推力増加の変化率に少なくとも部分的に基づいて、1つまたは複数のコンピューティングデバイスによって、電気機械に供給される電力量を変調するステップ(526)をさらに含むことができる。

【0106】

図10に示す方法500の例示的な態様を参照すると、方法500は、1つまたは複数のコンピューティングデバイスによって、電気機械への電力の供給を終了させるステップ(528)をさらに含む。特定の例示的な態様では、1つまたは複数のコンピューティングデバイスによって、電気機械への電力の供給を終了させるステップ(528)は、決定されたしきい値を超えるターボ機械の1つまたは複数の回転速度パラメータ、ターボ機械が決定されたしきい値を超える推力の量を提供していることを示す、ターボ機械の動作可能性パラメータなどに基づいて、1つまたは複数のコンピューティングデバイスによって、電気機械への供給電力を終了させるステップを含むことができる。さらに、さらに他の例示的な態様では、1つまたは複数のコンピューティングデバイスによって電気機械への供給電力を終了させるステップ(528)は、電気エネルギー蓄積ユニットの決定された充電状態が最小しきい値よりも低いこと、電気機械の温度が上限温度しきい値を上回ることなどに基づいて、1つまたは複数のコンピューティングデバイスによって、電気機械への電力供給を終了させるステップを含むことができる。

10

【0107】

さらに、やはり図示するように、方法500は、1つまたは複数のコンピューティングデバイスによって、電気機械から電力を抽出するステップ(530)をさらに含む。より具体的には、図示した方法500の例示的な態様では、1つまたは複数のコンピューティングデバイスによって、電気機械から電力を抽出するステップ(530)は、1つまたは複数のコンピューティングデバイスによって、電気機械から電気エネルギー蓄積ユニットに電力を抽出するステップ(532)を含む。ステップ(530)におけるこのような電力の抽出は、例えば、ステップ(528)における電気機械への電力の終了に続いて、ターボ機械がステップ(504)で受信した加速コマンドによって要求される加速を満たした後に行うことができる。例えば、特定の例示的な態様では、ターボ機械が定常状態動作条件(巡航動作条件など)で動作している間に、ステップ(530)での抽出電力が発生してもよい。

20

【0108】

特に、他の例示的な態様では、前述のように、推進器は第1の推進器であってもよく、電気機械は第1の電気機械であってもよく、ハイブリッド電気推進システムは第2の推進器をさらに含んでもよく、電気システムは第2の推進器に連結された第2の電気機械をさらに含んでもよい。このような例示的な態様では、破線で示すように、1つまたは複数のコンピューティングデバイスによって、第1の電気機械から電力を抽出するステップ(530)は、1つまたは複数のコンピューティングデバイスによって、第1の電気機械から電気エネルギー蓄積ユニット、または第2の電気機械、またはその両方に電力を抽出するステップ(534)をさらに含むことができる。例えば、少なくとも特定の例示的な態様では、1つまたは複数のコンピューティングデバイスによって、第1の電気機械から電力を抽出するステップ(530)は、1つまたは複数のコンピューティングデバイスによって、第1の電気機械から第2の電気機械に電力を抽出するステップを含むことができる。

30

【0109】

図9および図10を参照して上述した1つまたは複数の例示的な態様によるハイブリッド電気推進システムを動作させることにより、ハイブリッド電気推進システムは、離陸などの特定の動作中に依然として所望の比較的高いレベルの加速度を提供することを可能にしながら、アイドリング動作条件の間に比較的低いアイドリング設定点で動作することが可能になる。それによって、燃料消費の減少および航空機のブレーキなどの航空機の特定の構成要素の早すぎる摩耗の減少をもたらすことができる。

40

【0110】

ここで図12を参照すると、本開示の例示的な実施形態によるコンピューティングシステム600の一例が示されている。コンピューティングシステム600は、例えば、ハイブリッド電気推進システム50のコントローラ72として使用することができる。コンピューティングシステム600は、1つまたは複数のコンピューティングデバイス610を含むことができる。コンピューティングデバイス610は、1つまたは複数のプロセッサ

50

610A、ならびに1つまたは複数のメモリデバイス610Bを含むことができる。1つまたは複数のプロセッサ610Aは、マイクロプロセッサ、マイクロコントローラ、集積回路、論理デバイス、および／または他の適切な処理デバイスなどの任意の適切な処理デバイスを含むことができる。1つまたは複数のメモリデバイス610Bは、非一時的コンピュータ可読媒体、RAM、ROM、ハードドライブ、フラッシュドライブ、および／または他のメモリデバイスを含むが、これらに限定されない、1つまたは複数のコンピュータ可読媒体を含むことができる。

【0111】

1つまたは複数のメモリデバイス610Bは、1つまたは複数のプロセッサ610Aによって実行することができるコンピュータ可読命令610Cを含む、1つまたは複数のプロセッサ610Aによってアクセス可能な情報を格納することができる。命令610Cは、1つまたは複数のプロセッサ610Aによって実行された場合に、1つまたは複数のプロセッサ610Aに動作を実行させる任意の命令セットであってもよい。いくつかの実施形態では、命令610Cは、1つまたは複数のプロセッサ610Aによって実行されて、コンピューティングシステム600および／またはコンピューティングデバイス610が構成される動作および機能、本明細書で説明したターボ機械を動作させるための動作（例えば、方法300、400、500）、ならびに／あるいは1つまたは複数のコンピューティングデバイス610の任意の他の動作または機能のいずれかなどの動作を、1つまたは複数のプロセッサ610Aに実行させることができる。したがって、方法300は、コンピュータにより実施される方法であってもよい。命令610Cは、任意の適切なプログラミング言語で書かれたソフトウェアであってもよく、あるいはハードウェアで実現されてもよい。それに加えて、および／またはその代わりに、命令610Cは、プロセッサ610A上の論理的および／または仮想的に別個のスレッドで実行することができる。メモリデバイス610Bは、プロセッサ610Aによってアクセス可能なデータ610Dをさらに格納することができる。例えば、データ610Dは、電力潮流を示すデータ、ハイブリッド電気推進システムにおける様々な負荷の電力需要を示すデータ、ハイブリッド電気推進システムのターボ機械を含むハイブリッド電気推進システムの動作パラメータを示すデータを含むことができる。

【0112】

コンピューティングデバイス610はまた、例えば、システム600の他の構成要素と（例えば、ネットワークを介して）通信するために使用されるネットワークインターフェース610Eを含むことができる。ネットワークインターフェース610Eは、例えば、送信器、受信器、ポート、コントローラ、アンテナ、および／または他の適切な構成要素を含む1つまたは複数のネットワークとインターフェースするための任意の適切な構成要素を含むことができる。1つまたは複数の外部表示装置（図示せず）は、コンピューティングデバイス610から1つまたは複数のコマンドを受信するように構成することができる。

【0113】

本明細書で説明した技術は、コンピュータベースのシステム、ならびにコンピュータベースのシステムにより行われる動作、およびそれとの間でやりとりされる情報を参照する。当業者であれば、コンピュータベースのシステムの固有の柔軟性によって、構成要素間の多種多様な可能な構成、組み合わせ、ならびにタスクおよび機能の分割が可能になることを認識するであろう。例えば、本明細書で説明した処理は、単一のコンピューティングデバイスまたは組み合わせて働く複数のコンピューティングデバイスを使用して実施することができる。データベース、メモリ、命令、およびアプリケーションは、単一のシステムに実装してもよいし、複数のシステムに分散してもよい。分散した構成要素は、順次または並列に動作することができる。

【0114】

様々な実施形態の具体的な特徴がいくつかの図面には示されており、他の図面には示されていないが、これは単に便宜上のものである。本開示の原理によれば、図面の任意の特

徴は、他の任意の図面の任意の特徴と組み合わせて参照および／または請求することができる。

【0115】

本明細書は、本発明を最良の態様を含めて開示すると共に、あらゆる装置またはシステムの製作および使用ならびにあらゆる関連の方法の実行を含む本発明の実施を当業者にとって可能にするために、実施例を用いている。本発明の特許可能な範囲は、特許請求の範囲によって定義され、当業者が想到する他の実施例を含むことができる。このような他の実施例は、それらが特許請求の範囲の文言と異なる構造要素を含む場合、または特許請求の範囲の文言と実質的な差異を有さない等価の構造要素を含む場合、特許請求の範囲内であることを意図している。

10

〔実施態様1〕

航空機（10）のハイブリッド電気推進システム（50）を動作させるための方法（300, 400, 500）であって、前記ハイブリッド電気推進システム（50）は、推進器（104）、ターボ機械（102）、および電気システムを含み、前記電気システムは、前記ターボ機械（102）に連結された電気機械（56）を含み、前記方法（300, 400, 500）は、

1つまたは複数のコンピューティングデバイス（610）によって、前記ターボ機械（102）が前記推進器（104）を回転させるように前記ターボ機械（102）を動作させるステップ（302）と、

前記1つまたは複数のコンピューティングデバイス（610）によって、前記ターボ機械（102）を動作させている間に前記ターボ機械（102）を加速するためのコマンドを受信するステップ（304）と、

20

前記ターボ機械（102）を加速するための前記受信したコマンドに応答して、前記ターボ機械（102）、または前記推進器（104）、またはその両方に動力を加えるために、前記1つまたは複数のコンピューティングデバイス（610）によって電力を前記電気機械（56）に供給するステップ（306）と、

を含む方法（300, 400, 500）。

〔実施態様2〕

前記ハイブリッド電気推進システム（50）は、電気エネルギー蓄積ユニット（55）をさらに含み、前記1つまたは複数のコンピューティングデバイス（610）によって、前記電気機械（56）に電力を供給するステップ（306）は、前記1つまたは複数のコンピューティングデバイス（610）によって、前記電気エネルギー蓄積ユニット（55）から前記電気機械（56）に電力を供給するステップ（414, 416, 512）を含む、実施態様1に記載の方法（300, 400, 500）。

30

〔実施態様3〕

前記1つまたは複数のコンピューティングデバイス（610）によって、前記電気エネルギー蓄積ユニット（55）から前記電気機械（56）に電力を供給するステップ（414, 416, 512）は、前記1つまたは複数のコンピューティングデバイス（610）によって、前記電気機械（56）を用いて少なくとも約15馬力の機械的動力を前記ターボ機械（102）、または前記推進器（104）、またはその両方に供給するステップ（418）を含む、実施態様2に記載の方法（300, 400, 500）。

40

〔実施態様4〕

前記1つまたは複数のコンピューティングデバイス（610）によって前記ターボ機械（102）を動作させるステップ（302）は、前記1つまたは複数のコンピューティングデバイス（610）によって、定常状態飛行動作条件で前記ターボ機械（102）を動作させるステップ（402）を含む、実施態様1に記載の方法（300, 400, 500）。

〔実施態様5〕

前記ターボ機械（102）を加速するための前記受信したコマンドに応答して、前記1つまたは複数のコンピューティングデバイス（610）によって、前記ターボ機械（10

50

2)の燃焼部(114)への燃料流量を初期時間にわたって実質的に一定に維持するステップ(428)

をさらに含む、実施態様4に記載の方法(300, 400, 500)。

[実施態様6]

前記1つまたは複数のコンピューティングデバイス(610)によって、前記ターボ機械(102)の前記燃焼部(114)への前記燃料流量を前記初期時間にわたって実質的に一定に維持するステップ(428)は、前記ターボ機械(102)の高圧システムの回転速度を前記初期時間にわたって実質的に一定に維持するステップ、または前記ターボ機械(102)内の温度を前記初期時間にわたって実質的に一定に維持するステップ、またはその両方を含む、実施態様5に記載の方法(300, 400, 500)。

10

[実施態様7]

前記ターボ機械(102)を加速するための前記受信したコマンドに応答して、前記ターボ機械(102)のアクティブクリアランス制御システム(160)を使用して、前記1つまたは複数のコンピューティングデバイス(610)によって前記ターボ機械(102)内の1つまたは複数のクリアランス(166)を増加させるステップ(424)

をさらに含む、実施態様4に記載の方法(300, 400, 500)。

[実施態様8]

前記ターボ機械(102)を加速するための前記受信したコマンドに応答して、前記1つまたは複数のコンピューティングデバイス(610)によって、前記ターボ機械(102)の燃焼部(114)への燃料流量を初期時間にわたって実質的に一定に維持するステップ(428)をさらに含む、前記アクティブクリアランス制御システム(160)を使用して、前記1つまたは複数のコンピューティングデバイス(610)によって前記ターボ機械(102)内の前記1つまたは複数のクリアランス(166)を増加させるステップ(424)は、前記1つまたは複数のコンピューティングデバイス(610)によって、前記ターボ機械(102)の前記燃焼部(114)への前記燃料流量を前記初期時間にわたって実質的に一定に維持するステップ(428)と実質的に同時に、前記アクティブクリアランス制御システム(160)を使用して、前記1つまたは複数のコンピューティングデバイス(610)によって前記ターボ機械(102)内の前記1つまたは複数のクリアランス(166)を増加させるステップ

20

を含む、実施態様4に記載の方法(300, 400, 500)。

30

[実施態様9]

前記アクティブクリアランス制御システム(160)を使用して、前記1つまたは複数のコンピューティングデバイス(610)によって前記ターボ機械(102)内の前記1つまたは複数のクリアランス(166)を増加させるステップ(424)は、前記1つまたは複数のコンピューティングデバイス(610)によって、前記電気機械(56)に電力を供給するステップ(306)と実質的に同時に、前記アクティブクリアランス制御システム(160)を使用して、前記1つまたは複数のコンピューティングデバイス(610)によって、前記ターボ機械(102)内の前記1つまたは複数のクリアランス(166)を増加させるステップ(426)を含む、実施態様8に記載の方法(300, 400, 500)。

40

[実施態様10]

前記1つまたは複数のコンピューティングデバイス(610)によって、前記定常状態飛行動作条件で前記ターボ機械(102)を動作させるステップ(402)は、前記1つまたは複数のコンピューティングデバイス(610)によって、前記電気機械(56)から電力を抽出するステップ(404, 408, 530)を含む、実施態様4に記載の方法(300, 400, 500)。

[実施態様11]

前記1つまたは複数のコンピューティングデバイス(610)によって、前記ターボ機械(102)を動作させるステップ(302)は、前記1つまたは複数のコンピューティングデバイス(610)によって、アイドリング動作条件で前記ターボ機械(102)を

50

動作させるステップ（５０２）を含む、実施態様１に記載の方法（３００，４００，５００）。

[実施態様１２]

前記１つまたは複数のコンピューティングデバイス（６１０）によって、前記アイドル動作条件で前記ターボ機械（１０２）を動作させている間に前記ターボ機械（１０２）を加速するための前記コマンドを受信するステップ（５０４）は、前記１つまたは複数のコンピューティングデバイス（６１０）によって、前記アイドル動作条件で前記ターボ機械（１０２）を動作させている間に、前記ターボ機械（１０２）を離陸出力レベルまで加速するためのコマンドを受信するステップ（５０８）を含む、実施態様１１に記載の方法（３００，４００，５００）。

10

[実施態様１３]

前記１つまたは複数のコンピューティングデバイス（６１０）によって、前記アイドル動作条件で前記ターボ機械（１０２）を動作させている間に前記ターボ機械（１０２）を加速するための前記コマンドを受信するステップ（５０４）は、前記１つまたは複数のコンピューティングデバイス（６１０）によって、推力増加コマンドを受信するステップ（５０６）を含む、実施態様１１に記載の方法（３００，４００，５００）。

[実施態様１４]

前記１つまたは複数のコンピューティングデバイス（６１０）によって、前記ターボ機械（１０２）を加速するための前記コマンドを受信するステップは、前記１つまたは複数のコンピューティングデバイス（６１０）によって、命令された推力増加の変化率を決定するステップ（５２４）をさらに含み、前記１つまたは複数のコンピューティングデバイス（６１０）によって、前記電気機械（５６）に電力を供給するステップ（３０６）は、前記決定された推力増加の変化率に少なくとも部分的に基づいて、前記１つまたは複数のコンピューティングデバイス（６１０）によって、前記電気機械（５６）に供給される電力量を変調するステップ（５２６）を含む、実施態様１３に記載の方法（３００，４００，５００）。

20

[実施態様１５]

前記１つまたは複数のコンピューティングデバイス（６１０）によって、前記ターボ機械（１０２）の動作パラメータを示すデータを受信するステップ（４２０）をさらに含み、前記１つまたは複数のコンピューティングデバイス（６１０）によって、前記電気機械（５６）に電力を供給するステップ（３０６）は、前記ターボ機械（１０２）の前記動作パラメータを示す前記受信データに少なくとも部分的に基づいて、前記１つまたは複数のコンピューティングデバイス（６１０）によって、前記電気機械（５６）に供給される電力量を変調するステップ（４２１）

30

を含む、実施態様１に記載の方法（３００，４００，５００）。

[実施態様１６]

前記１つまたは複数のコンピューティングデバイス（６１０）によって、前記ターボ機械（１０２）の動作パラメータを示すデータを受信するステップ（４２０）と、

前記ターボ機械（１０２）の前記動作パラメータを示す前記受信データに少なくとも部分的に基づいて、前記１つまたは複数のコンピューティングデバイス（６１０）によって、前記電気機械（５６）への電力の前記供給を終了させるステップ（４３２）と、

40

をさらに含む、実施態様１に記載の方法（３００，４００，５００）。

[実施態様１７]

前記ハイブリッド電気推進システム（５０）は、電気エネルギー蓄積ユニット（５５）をさらに含み、前記方法（３００，４００，５００）は、

前記１つまたは複数のコンピューティングデバイス（６１０）によって、前記電気エネルギー蓄積ユニット（５５）の充電状態を示すデータを受信するステップ（４２２）をさらに含み、前記１つまたは複数のコンピューティングデバイス（６１０）によって、前記電気機械（５６）に電力を供給するステップ（３０６）は、前記電気エネルギー蓄積ユニット（５５）の前記充電状態を示す前記受信データに少なくとも部分的に基づいて、前記

50

1つまたは複数のコンピューティングデバイス（610）によって、前記電気機械（56）に供給される電力量を変調するステップ（423）

を含む、実施態様1に記載の方法（300, 400, 500）。

[実施態様18]

前記ハイブリッド電気推進システム（50）は、電気エネルギー蓄積ユニット（55）をさらに含み、前記方法（300, 400, 500）は、

前記1つまたは複数のコンピューティングデバイス（610）によって、前記電気エネルギー蓄積ユニット（55）の充電状態を示すデータを受信するステップ（422）と、

前記1つまたは複数のコンピューティングデバイス（610）によって、前記電気エネルギー蓄積ユニット（55）の前記充電状態を示す前記受信データに少なくとも部分的に基づいて、前記電気機械（56）への電力の前記供給を終了させるステップと

をさらに含む、実施態様1に記載の方法（300, 400, 500）。

[実施態様19]

航空機（10）のためのハイブリッド電気推進システム（50）であって、推進器（104）と、

前記推進器（104）を駆動して推力を発生させるために前記推進器（104）に連結されたターボ機械（102）と、

前記電気機械（56）と、前記電気機械（56）に電氣的に接続可能な電気エネルギー蓄積ユニット（55）と、を含む電気システムであって、前記電気機械（56）は前記ターボ機械（102）に連結されている、電気システムと、

前記ターボ機械（102）を動作させている間に前記ターボ機械（102）を加速するためのコマンドを受信し、前記ターボ機械（102）を加速するための前記受信したコマンドに応答して、前記ターボ機械（102）、前記推進器（104）、またはその両方に電力を加えるために前記電気機械（56）に電力を供給するように構成されたコントローラ（150）と、

を含むハイブリッド電気推進システム（50）。

[実施態様20]

電気エネルギー蓄積ユニット（55）をさらに含み、前記電気機械（56）に電力を供給する際に、前記コントローラ（150）は、電力を前記電気エネルギー蓄積ユニット（55）から前記電気機械（56）に供給するように構成される、

実施態様19に記載のハイブリッド電気推進システム（50）。

【符号の説明】

【0116】

- 10 航空機
- 12 胴体
- 14 長手方向中心線
- 16 前端部
- 18 後端部
- 19 尾翼
- 20 第1の／左側翼部
- 22 第2の／右側翼部
- 24 第1の側（航空機の）
- 26 第2の側（航空機の）
- 28 前縁フラップ
- 30 後縁フラップ
- 32 垂直スタビライザ
- 34 水平スタビライザ
- 36 エレベータフラップ
- 38 外面／外板
- 50 ハイブリッド電気推進システム

10

20

30

40

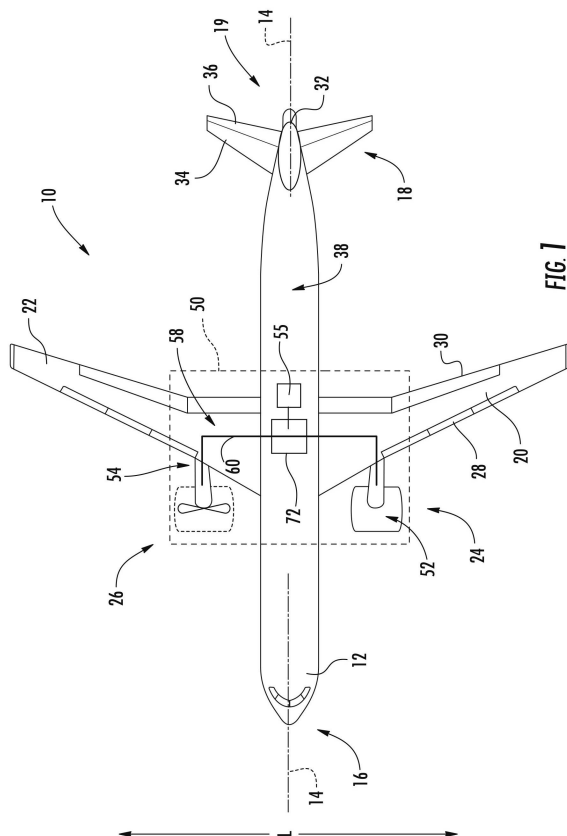
50

5 2	第 1 の推進器アセンブリ	
5 4	第 2 の推進器アセンブリ	
5 5	電気エネルギー蓄積ユニット	
5 6	電気機械	
5 6 A	第 1 の電気機械	
5 6 B	第 2 の電気機械	
5 8	電力バス	
6 0	電線	
7 2	コントローラ	
1 0 0	ターボファンエンジン	10
1 0 1	長手方向中心線／長手方向軸	
1 0 2	ターボ機械	
1 0 2 A	第 1 のターボ機械	
1 0 2 B	第 2 のターボ機械	
1 0 4	推進器／ファン	
1 0 4 A	第 1 の推進器	
1 0 4 B	第 2 の推進器	
1 0 6	外側ケーシング	
1 0 8	環状入口	
1 1 0	低圧（L P）圧縮機／ブースタ	20
1 1 2	高圧（H P）圧縮機／ブースタ	
1 1 4	燃焼部	
1 1 6	第 1 の／高圧（H P）タービン	
1 1 8	第 2 の／低圧（L P）タービン	
1 2 0	ジェット排気ノズル部	
1 2 1	コア空気流路	
1 2 2	高圧（H P）シャフト／スプール／高圧スプール／H P スプール	
1 2 4	低圧（L P）シャフト／スプール／低圧スプール／L P スプール	
1 2 8	ファンブレード	
1 3 0	ディスク	30
1 3 2	作動部材	
1 3 4	動力ギヤボックス	
1 3 6	回転可能なフロントハブ	
1 3 8	ファンケーシング／外側ナセル	
1 4 0	出口ガイドベーン	
1 4 2	下流側部分	
1 4 4	バイパス空気流路	
1 5 0	コントローラ	
1 6 0	アクティブクリアランス制御システム	
1 6 2	作動部材	40
1 6 4	高圧（H P）タービンロータブレード	
1 6 6	クリアランス	
1 6 8	外側ライナー	
2 0 0	電気推進器アセンブリ	
2 0 2	長手方向中心線軸	
2 0 4	推進器／ファン	
2 0 6	電動モータ	
2 0 8	ファンブレード	
2 1 0	ファンシャフト	
2 1 1	ピッチ変更機構	50

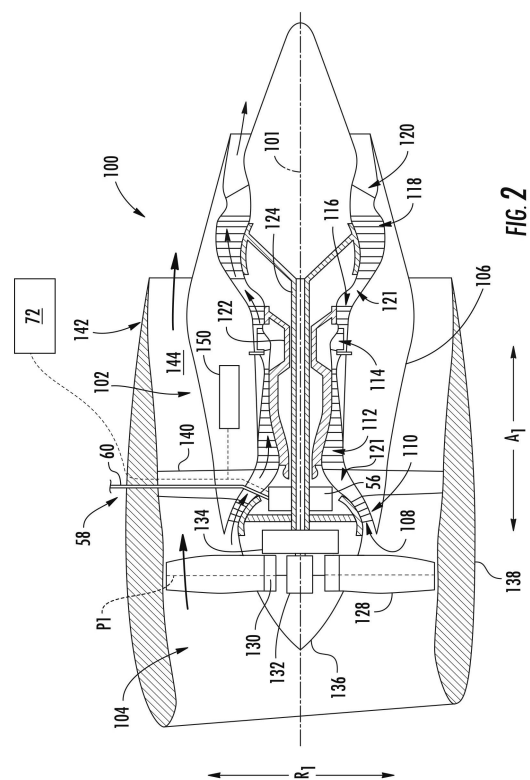
2 1 2	ファンケーシング／外側ナセル	
2 1 4	コア	
2 1 6	ストラット／出口ガイドベーン	
2 1 8	ベアリング	
3 0 0	方法	
3 0 2	方法ステップ	
3 0 4	方法ステップ	
3 0 6	方法ステップ	
4 0 0	方法ステップ／方法	
4 0 2	方法ステップ	10
4 0 4	方法ステップ	
4 0 6	方法ステップ	
4 0 8	方法ステップ	
4 1 0	方法ステップ	
4 1 2	方法ステップ	
4 1 4	方法ステップ	
4 1 5	方法ステップ	
4 1 6	方法ステップ	
4 1 8	方法ステップ	
4 2 0	方法ステップ	20
4 2 1	方法ステップ	
4 2 2	方法ステップ	
4 2 3	方法ステップ	
4 2 4	方法ステップ	
4 2 6	方法ステップ	
4 2 8	方法ステップ	
4 3 0	方法ステップ	
4 3 2	方法ステップ	
4 3 4	方法ステップ	
5 0 0	方法ステップ／方法	30
5 0 2	方法ステップ	
5 0 4	方法ステップ	
5 0 6	方法ステップ	
5 0 8	方法ステップ	
5 1 0	方法ステップ	
5 1 2	方法ステップ	
5 1 6	方法ステップ	
5 1 7	方法ステップ	
5 1 8	方法ステップ	
5 2 0	方法ステップ	40
5 2 2	方法ステップ	
5 2 4	方法ステップ	
5 2 6	方法ステップ	
5 2 8	方法ステップ	
5 3 0	方法ステップ	
5 3 2	方法ステップ	
5 3 4	方法ステップ	
6 0 0	コンピューティングシステム	
6 1 0	コンピューティングデバイス	
6 1 0 A	プロセッサ	50

- 610B メモリデバイス
- 610C コンピュータ可読命令
- 610D データ
- 610E ネットワークインターフェース

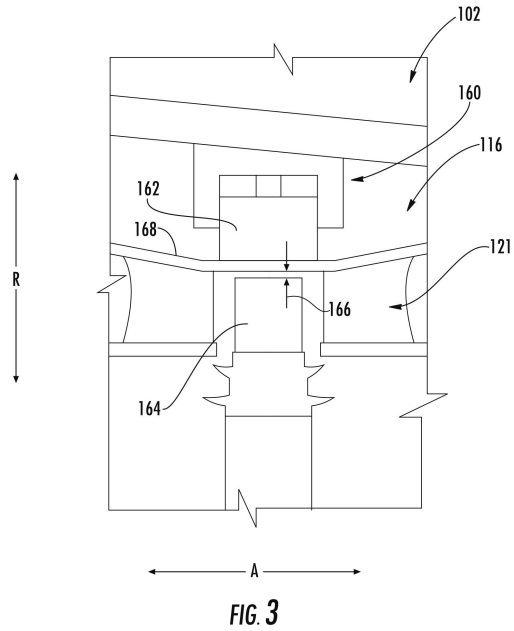
【図 1】



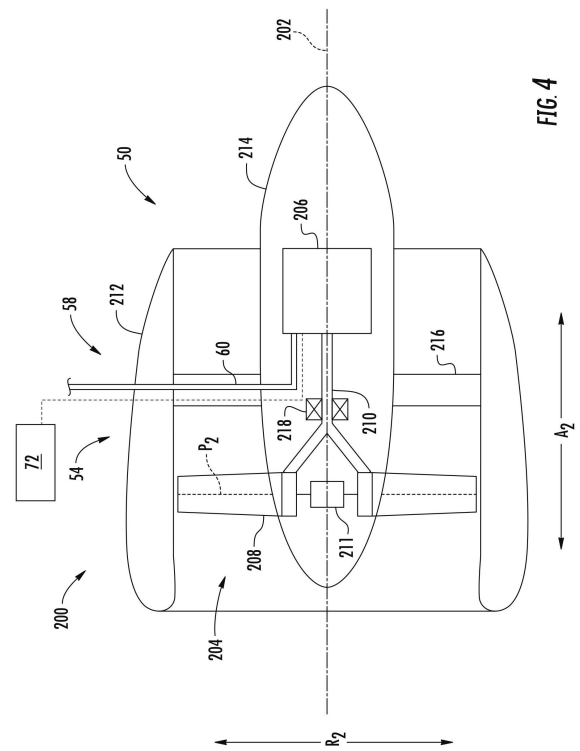
【図 2】



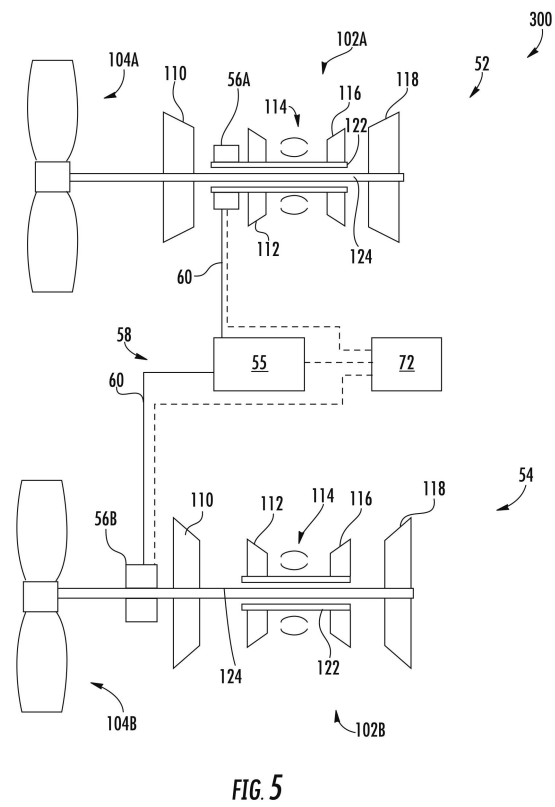
【図 3】



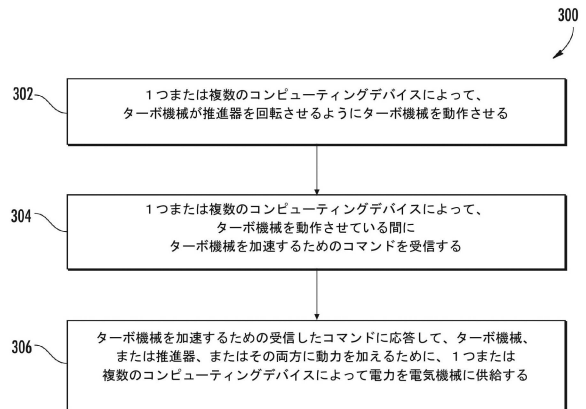
【図 4】



【図 5】



【図 6】



【図 7】

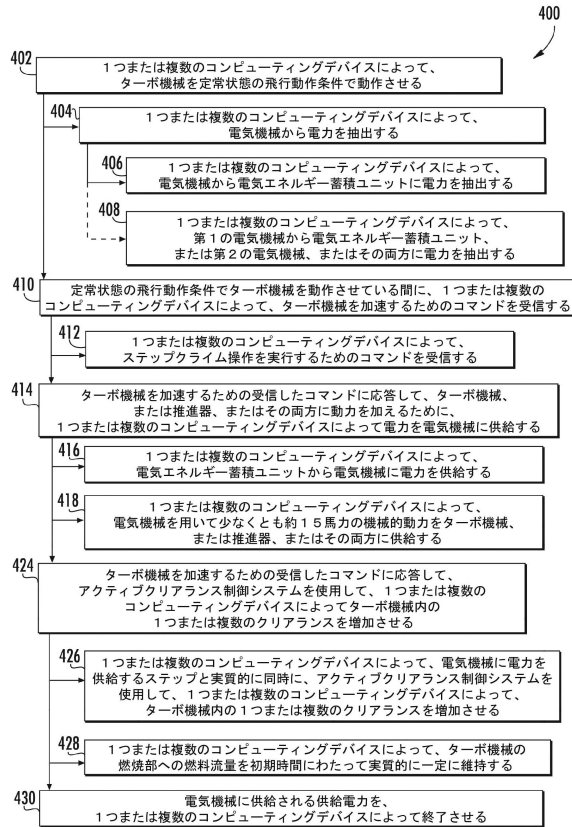


FIG. 7

【図 9】

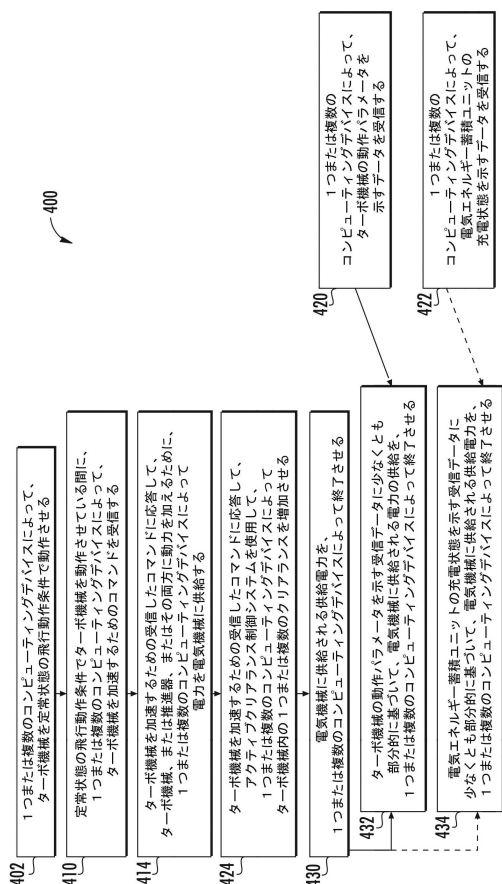


FIG. 9

【図 8】

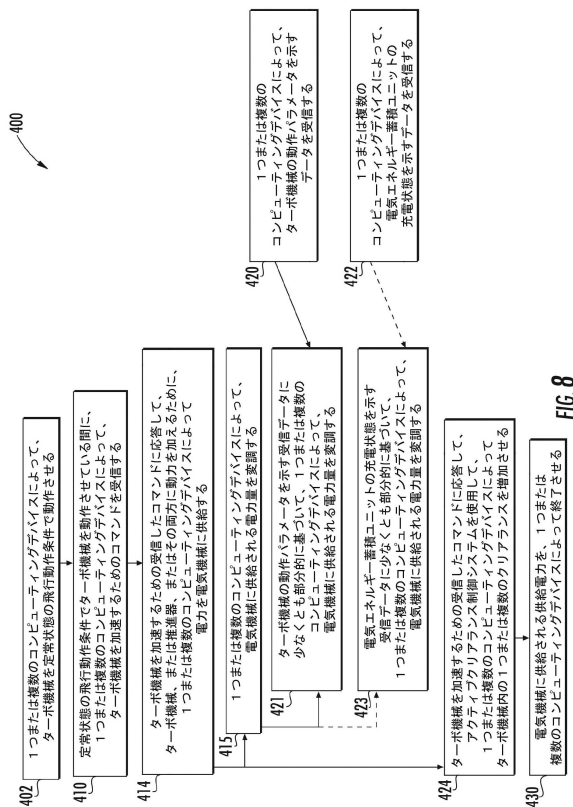


FIG. 8

【図 10】

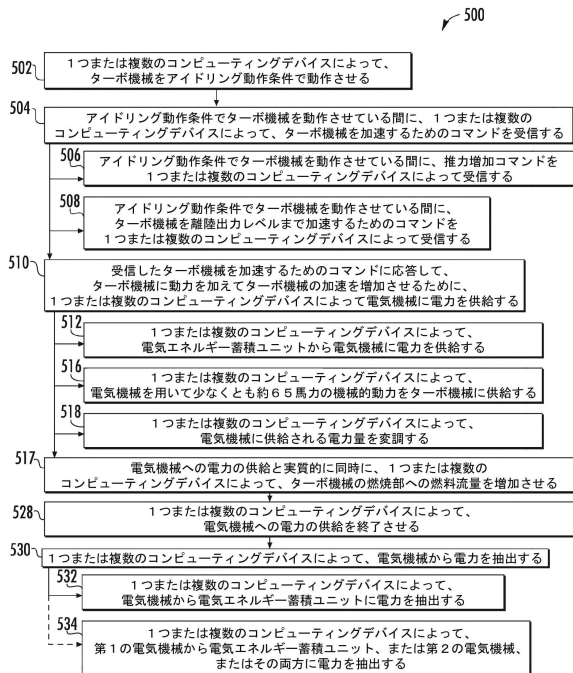


FIG. 10

【図 1 1】

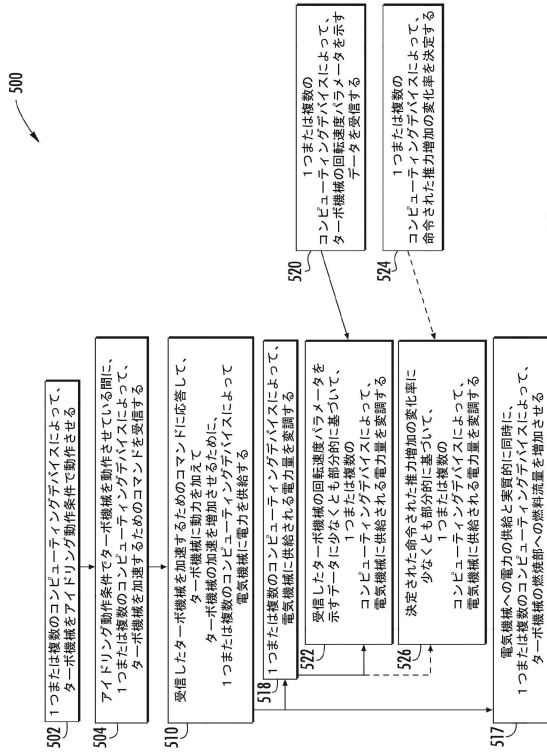


FIG. 11

【図 1 2】

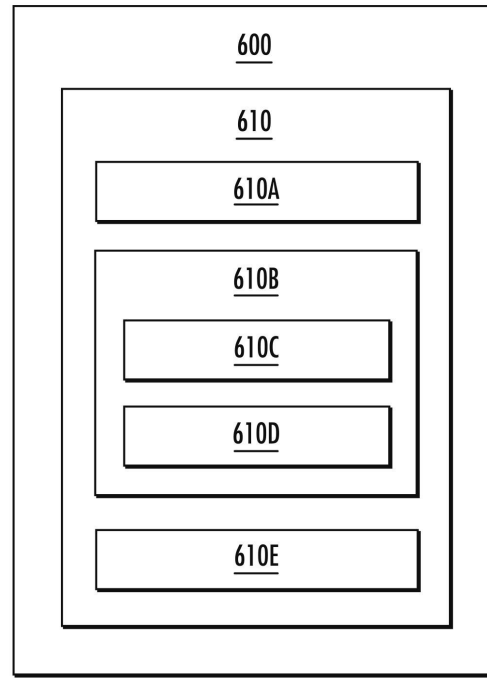


FIG. 12

フロントページの続き

(74)代理人 100113974

弁理士 田中 拓人

(72)発明者 マイケル・トーマス・ガンスラー

アメリカ合衆国、オハイオ州・45215、シンシナティ、ヌーマン・ウェイ、1

(72)発明者 ロバート・チャールズ・ホン

アメリカ合衆国、オハイオ州・45215、シンシナティ、ヌーマン・ウェイ、1

審査官 高吉 統久

(56)参考文献 米国特許出願公開第2008/0276620 (US, A1)

特開昭57-051914 (JP, A)

特開2013-139821 (JP, A)

独国特許出願公開第102013209388 (DE, A1)

特開平03-117638 (JP, A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

B64D 27/24

F02C 6/20

F02C 9/28