

(19)日本国特許庁(JP)

(12)特許公報(B2)

(11)特許番号
特許第7580355号
(P7580355)

(45)発行日 令和6年11月11日(2024.11.11)

(24)登録日 令和6年10月31日(2024.10.31)

(51)国際特許分類

F I

B 6 4 D 41/00 (2006.01)

B 6 4 D 41/00

B 6 4 D 27/24 (2024.01)

B 6 4 D 27/24

H 0 2 P 9/04 (2006.01)

H 0 2 P 9/04

F

請求項の数 4 (全17頁)

(21)出願番号	特願2021-146944(P2021-146944)	(73)特許権者	000005326
(22)出願日	令和3年9月9日(2021.9.9)		本田技研工業株式会社
(65)公開番号	特開2023-39696(P2023-39696A)		東京都港区南青山二丁目1番1号
(43)公開日	令和5年3月22日(2023.3.22)	(74)代理人	100165179
審査請求日	令和5年11月28日(2023.11.28)		弁理士 田▲崎▼ 聡
		(74)代理人	100126664
			弁理士 鈴木 慎吾
		(74)代理人	100154852
			弁理士 酒井 太一
		(74)代理人	100194087
			弁理士 渡辺 伸一
		(72)発明者	北 章徳
			埼玉県和光市中央1丁目4番1号 株式
			会社本田技術研究所内
		(72)発明者	松本 健

最終頁に続く

(54)【発明の名称】 航空機の推進システム

(57)【特許請求の範囲】

【請求項1】

航空機の機体に搭載され、
圧縮機及び前記圧縮機と一体回転するタービンを有するガスタービン要素と、
前記ガスタービン要素と回転軸を介して接続される発電機と、
前記発電機により発電された電力を蓄電するバッテリーと、
前記発電機からの電力及び前記バッテリーからの電力の少なくとも一方の電力により駆動される電気モータと、
前記電気モータにより駆動されるプロペラと、
前記航空機の飛行状態を検出する飛行状態検出部と、
前記飛行状態検出部により検出された前記飛行状態に基づいて、前記航空機に対する要求出力の負荷変動を検出する負荷変動検出部と、
前記飛行状態検出部により検出された前記飛行状態に基づいて、前記回転軸におけるトルク及び回転数により定義される動力動作点を制御する動作点制御部と、
を備え、
前記動作点制御部は、動力動作点がマッピングされる動作点マップにおいて、
前記トルクと前記回転数の積により定義される出力が一定である複数の動力動作点を結んだ第一動作線と、
前記第一動作線とは出力が異なり、かつ出力が一定である複数の動力動作点を結んだ第二動作線と、

を設定し、

前記動作点制御部は、前記負荷変動検出部により負荷が変動したことが検出された場合、前記動作点マップにおける現在の動力動作点である初期動力動作点に対して、前記負荷に対応するための目標動力動作点を設定し、

前記動作点制御部は、

前記動力動作点を、前記第一動作線上にある前記初期動力動作点から前記回転数を一定にしたまま前記第二動作線上の前記目標動力動作点へ移動させ、

前記動力動作点を前記目標動力動作点へ移動させた後、前記第二動作線上にある前記目標動力動作点から前記トルクを一定にしたまま前記第一動作線上の復帰動力動作点へ移動させ、

10

前記動力動作点を前記復帰動力動作点へ移動した後、前記第一動作線上にある前記復帰動力動作点から前記第一動作線に沿って前記初期動力動作点へ移動させることを特徴とする航空機の推進システム。

【請求項 2】

前記負荷変動検出部により前記負荷が増加することが検出された場合、前記動作点制御部は、前記第一動作線の出力に対して前記第二動作線の出力が大きくなるように前記第二動作線を設定することを特徴とする請求項 1 に記載の航空機の推進システム。

【請求項 3】

前記負荷変動検出部により前記負荷が減少することが検出された場合、前記動作点制御部は、前記第一動作線の出力に対して前記第二動作線の出力が小さくなるように前記第二動作線を設定することを特徴とする請求項 1 に記載の航空機の推進システム。

20

【請求項 4】

前記負荷変動検出部は、フィードフォワード制御により前記負荷変動を予測するフィードフォワード制御部を有し、

前記フィードフォワード制御部は、前記飛行状態検出部により検出された前記飛行状態に基づいて前記負荷変動を予測し、

前記動作点制御部は、前記フィードフォワード制御部で予測された前記負荷変動に基づいて前記動力動作点を制御することを特徴とする請求項 1 に記載の航空機の推進システム。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

30

【0001】

本発明は、航空機の推進システムに関するものである。

【背景技術】

【0002】

従来、航空機等の機体に搭載された圧縮機やタービンに発電機を接続し、この発電機からの電力を用いて複数のプロペラを駆動する航空機用推進システムの技術が種々提案されている。

【0003】

例えば特許文献 1 には、複数のガスタービンエンジンと、ガスタービンエンジンの運転により発電する発電機と、プロペラの電動機に電力を供給するバッテリーと、を備える推進システムの構成が開示されている。特許文献 1 に記載の技術によれば、ガスタービンエンジンに接続された発電機とバッテリーとを組み合わせたハイブリッドタイプの推進システムとすることで、ガスタービンエンジンの故障等の種々の状況に対応できるとされている。

40

【先行技術文献】

【特許文献】

【0004】

【文献】米国特許第 8 7 2 7 2 7 1 号明細書

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0005】

50

ところで、航空機の離着陸時やホバリング時においては、複数のプロペラの回転を制御することにより機体の姿勢を保つ必要があり、このとき、短時間にスパイク状の負荷変動が生じる場合がある。

特許文献 1 等に記載の従来技術にあっては、このようなスパイク状の負荷変動に対して、ガスタービンエンジンへの燃料流量の増減だけでは追従できないため、電力の不足分をバッテリーからの電力により補う必要がある。すなわち、負荷変動に対応するためにバッテリーの電力に頼る必要がある。このため、バッテリーの必要容量が大きくなり、バッテリー及びその冷却系が大型化し、重量が増加するおそれがある。また、バッテリーの寿命が低下するおそれがある。

【 0 0 0 6 】

10

そこで、本発明は、従来技術と比較してバッテリー及びその冷却系を小型化するとともに、バッテリー寿命の低下を抑制することが可能な航空機の推進システムを提供することを目的とする。

【課題を解決するための手段】

【 0 0 0 7 】

上記の課題を解決するため、請求項 1 に記載の発明に係る航空機の推進システム（例えば、実施形態における航空機の推進システム 1）は、航空機の機体に搭載され、圧縮機（例えば、実施形態における圧縮機 2 1）及び前記圧縮機と一体回転するタービン（例えば、実施形態におけるタービン 2 2）を有するガスタービン要素（例えば、実施形態におけるガスタービン要素 2）と、前記ガスタービン要素と回転軸（例えば、実施形態における回転軸 2 5）を介して接続される発電機（例えば、実施形態における発電機 3）と、前記発電機により発電された電力を蓄電するバッテリー（例えば、実施形態におけるバッテリー 5）と、前記発電機からの電力及び前記バッテリーからの電力の少なくとも一方の電力により駆動される電気モータ（例えば、実施形態における電気モータ 7）と、前記電気モータにより駆動されるプロペラ（例えば、実施形態におけるプロペラ 8）と、前記航空機の飛行状態を検出する飛行状態検出部（例えば、実施形態における飛行状態検出部 1 5）と、前記飛行状態検出部により検出された前記飛行状態に基づいて、前記航空機に対する要求出力の負荷変動を検出する負荷変動検出部（例えば、実施形態における負荷変動検出部 3 1）と、前記飛行状態検出部により検出された前記飛行状態に基づいて、前記回転軸におけるトルク（例えば、実施形態におけるトルク T）及び回転数（例えば、実施形態における回転数 N_e ）により定義される動力動作点（例えば、実施形態における動力動作点 5 1, 5 2, 5 3, 6 1, 6 2, 6 3, 7 1, 7 2, 7 3, 8 1, 8 2, 8 3）を制御する動作点制御部（例えば、実施形態における動作点制御部 3 2）と、を備え、前記動作点制御部は、動力動作点がマッピングされる動作点マップ（例えば、実施形態における動作点マップ 4 0）において、前記トルクと前記回転数の積により定義される出力（例えば、実施形態における定数 α ）が一定である複数の動力動作点を結んだ第一動作線（例えば、実施形態における第一動作線 4 1）と、前記第一動作線とは出力が異なり、かつ出力（例えば、実施形態における定数 β ）が一定である複数の動力動作点を結んだ第二動作線（例えば、実施形態における第二動作線 4 2）と、を設定し、前記動作点制御部は、前記負荷変動検出部により負荷が変動したことが検出された場合、前記動作点マップにおける現在の動力動作点である初期動力動作点（例えば、実施形態における初期動力動作点 5 1, 6 1, 7 1, 8 1）に対して、前記負荷に対応するための目標動力動作点（例えば、実施形態における目標動力動作点 5 2, 6 2, 7 2, 8 2）を設定し、前記動作点制御部は、前記動力動作点を、前記第一動作線上にある前記初期動力動作点から前記回転数を一定にしたまま前記第二動作線上の前記目標動力動作点へ移動させ、前記動力動作点を前記目標動力動作点へ移動させた後、前記第二動作線上にある前記目標動力動作点から前記トルクを一定にしたまま前記第一動作線上の復帰動力動作点（例えば、実施形態における復帰動力動作点 5 3, 6 3, 7 3, 8 3）へ移動させ、前記動力動作点を前記復帰動力動作点へ移動した後、前記第一動作線上にある前記復帰動力動作点から前記第一動作線に沿って前記初期動力動作点へ移動させることを特徴としている。

20

30

40

50

【 0 0 0 8 】

また、請求項 2 に記載の発明に係る航空機の推進システムは、前記負荷変動検出部により前記負荷が増加することが検出された場合、前記動作点制御部は、前記第一動作線の出力に対して前記第二動作線の出力が大きくなるように前記第二動作線を設定することを特徴としている。

【 0 0 0 9 】

また、請求項 3 に記載の発明に係る航空機の推進システムは、前記負荷変動検出部により前記負荷が減少することが検出された場合、前記動作点制御部は、前記第一動作線の出力に対して前記第二動作線の出力が小さくなるように前記第二動作線を設定することを特徴としている。

10

【 0 0 1 0 】

また、請求項 4 に記載の発明に係る航空機の推進システムは、前記負荷変動検出部は、フィードフォワード制御により前記負荷変動を予測するフィードフォワード制御部（例えば、実施形態におけるフィードフォワード制御部 3 3 ）を有し、前記フィードフォワード制御部は、前記飛行状態検出部により検出された前記飛行状態に基づいて前記負荷変動を予測し、前記動作点制御部は、前記フィードフォワード制御部で予測された前記負荷変動に基づいて前記動力動作点を制御することを特徴としている。

【 発明の効果 】

【 0 0 1 1 】

本発明の請求項 1 に記載の航空機の推進システムによれば、動作点制御部は、負荷変動が生じた場合に、動力動作点を複数の動作線の間で移動させることにより負荷変動による出力の増減に対応する。具体的に、動作点制御部は、始めに第一動作線上にある動力動作点（初期動力動作点）から回転数を一定にしたまま第二動作線上の動力動作点（目標動力動作点）へ移動させる。これにより、回転軸の運動エネルギーと発電機の電気エネルギーとを互いに変換させて、短時間の負荷変動に対応できる。その後、動作点制御部は、運動エネルギーの増減に合わせてトルク一定のまま回転数を変化させる。つまり、動作点制御部は、第二動作線上にある動力動作点（目標動力動作点）からトルクを一定にしたまま第一動作線上の動力動作点（復帰動力動作点）へ移動させる。これにより、回転数を变速させつつ当初の第一動作線に戻す。最後に、動作点制御部は、復帰動力動作点から第一動作線に沿ってトルク及び回転数を変化させることにより第一動作線上の初期動力動作点に戻す。このように動作点を初期動力動作点、目標動力動作点、復帰動力動作点、初期動力動作点の順に移動させることで、ガスタービン要素及び発電機間の回転軸の運動エネルギーを出力として取り出し又は蓄積することができる。つまり、バッテリーからの電力の出し入れの代わりに回転軸の運動エネルギーを用いてスパイク状の負荷変動に対応可能となる。よって、必要以上にバッテリーを大型化する必要が無く、バッテリーからの電力で負荷変動に対応する従来技術と比較して、バッテリーを小型化できる。また、バッテリーの利用頻度が減少するため、バッテリーに関する冷却系を小型化できるとともにバッテリーの寿命低下を抑制できる。

20

30

したがって、従来技術と比較してバッテリー及びその冷却系を小型化するとともに、バッテリー寿命の低下を抑制することが可能な航空機の推進システムを提供できる。

【 0 0 1 2 】

40

本発明の請求項 2 に記載の航空機の推進システムによれば、負荷が増加する場合、動作点制御部は、第一動作線の出力に対して第二動作線の出力が大きくなるように第二動作線を設定する。すなわち、動作点制御部は、始めに第一動作線上の初期動力動作点から回転数を一定にしたまま第二動作線上の目標動力動作点へ移動させる。これにより、回転軸の運動エネルギーを利用して発電機側での発電電力を増加させ、短時間での負荷増加に対応することができる。その後、動作点制御部は、運動エネルギーの減少に合わせて回転数を減少させる。つまり、動作点制御部は、第二動作線上の目標動力動作点からトルクを一定にしたまま第一動作線上の復帰動力動作点へ移動させる。これにより、回転数を減少させつつ当初の第一動作線に戻す。最後に、動作点制御部は、復帰動力動作点から第一動作線に沿ってトルク及び回転数を変化させることにより初期動力動作点に戻す。このように、負荷

50

が増加する場合には、動作点を移動させることにより運動エネルギーを電気エネルギーとして取り出すことができる。よって、バッテリーから電力を取り出すことなく負荷変動の増加に対応できる。

【 0 0 1 3 】

本発明の請求項 3 に記載の航空機の推進システムによれば、負荷が減少する場合、動作点制御部は、第一動作線の出力に対して第二動作線の出力が小さくなるように第二動作線を設定する。すなわち、動作点制御部は、始めに第一動作線上の初期動力動作点から回転数を一定にしたまま第二動作線上の目標動力動作点へ移動させる。これにより、負荷低下に対応するために発電機が電力変換せずに残った余分の運動エネルギーを回転軸の運動エネルギーとして吸収（蓄積）させ、短時間での負荷減少に対応することができる。その後、動作点制御部は、運動エネルギーの増加に合わせて回転数を増加させる。つまり、動作点制御部は、第二動作線上の目標動力動作点からトルクを一定にしたまま第一動作線上の復帰動力動作点へ移動させる。これにより、回転数を増加させつつ当初の第一動作線に戻す。最後に、動作点制御部は、復帰動力動作点から第一動作線に沿ってトルク及び回転数を変化させることにより初期動力動作点に戻る。このように、負荷が減少する場合には、動作点を移動させることにより発電機が電力変換せずに残った余分な運動エネルギーを回転軸の運動エネルギーとして吸収（蓄積）させることができる。よって、バッテリーに電力を蓄電させることなく負荷変動の減少に対応できる。

10

さらに、負荷の減少時に吸収された運動エネルギーを、負荷が増加した場合の発電エネルギーとして利用することができる。この場合、負荷が増加した際に取り出された運動エネルギーを、蓄積されていた運動エネルギーで賄うことができるので、燃料流量を増加させることなく負荷の増加に対応できる。よって燃費の悪化を抑制できる。

20

【 0 0 1 4 】

本発明の請求項 4 に記載の航空機の推進システムによれば、フィードフォワード制御により負荷変動を予測するフィードフォワード制御部を有し、動作点制御部は、フィードフォワード制御部で予測された負荷変動に基づいて動力動作点を制御する。これにより、より迅速に要求出力の負荷変動に対応することができる。よって、航空機の推進システムにおける応答性を向上できる。

【図面の簡単な説明】

【 0 0 1 5 】

30

【図 1】実施形態に係る航空機の推進システムの概略構成図。

【図 2】負荷が増加した場合における、動作点制御部による制御を示す動作点マップ。

【図 3】負荷が増加した場合における動作点制御部のブロック図。

【図 4】負荷が増加した場合に取り出される運動エネルギー量を示すグラフ。

【図 5】負荷が減少した場合における、動作点制御部による制御を示す動作点マップ。

【図 6】負荷が減少した場合における動作点制御部のブロック図。

【図 7】負荷が減少した場合に吸収される運動エネルギー量を示すグラフ。

【発明を実施するための形態】

【 0 0 1 6 】

以下、本発明の実施形態について図面を参照して説明する。

40

【 0 0 1 7 】

（航空機の推進システム）

図 1 は、実施形態に係る航空機の推進システム 1 の概略構成図である。

航空機の推進システム 1（以下、単に推進システム 1 という場合がある。）は、不図示の航空機の機体に搭載されている。推進システム 1 は、詳しくは後述する発電機 3 で発電される電力によって駆動される複数の電気モータ 7 により航空機を推進させるハイブリッド推進システムである。

航空機の推進システム 1 は、ガスタービン要素 2 と、発電機 3 と、バッテリー 5 と、電気モータ 7 と、プロペラ 8 と、複数の制御ユニットと、を備える。複数の制御ユニットは、ガスタービン ECU 11 と、発電機 ECU 12 と、バッテリー監視ユニット 13 と、モータ

50

ＥＣＵ１４と、飛行状態検出部１５と、フライトコントローラ１６と、ハイブリッド制御部１７と、を備える。

【００１８】

（ガスタービン要素）

ガスタービン要素２は、圧縮機２１と、タービン２２と、連結軸２３と、を有するいわゆるガスタービンエンジンである。圧縮機２１は、航空機の機体に設けられた不図示の通風孔から吸入される吸入空気を圧縮する。タービン２２は、圧縮機２１と接続されて圧縮機２１と一体回転する。連結軸２３は、圧縮機２１とタービン２２とを連結している。連結軸２３の一方の端部に圧縮機２１が接続されている。連結軸２３の他方の端部にタービン２２が接続されている。

10

【００１９】

（発電機）

発電機３は、回転軸２５を介してガスタービン要素２と接続されている。発電機３とガスタービン要素２とは、その間に变速機構等を設けることなく、回転軸２５を介して直結されている。よって、発電機３は、ガスタービン要素２と一体回転する。回転軸２５は、ガスタービン要素２の連結軸２３と同軸上に設けられている。なお、回転軸２５と連結軸２３とは一体化されていてもよい。発電機３は、タービン２２の駆動によって電力（交流電力）を発電する。発電機３で発電された交流電力は、パワードライブユニット（ＰＤＵ）のコンバータ４で直流電力に変換され、バッテリー５に貯留される。

【００２０】

20

（バッテリー）

バッテリー５には、発電機３により発電された電力が貯留される。バッテリー５は、コンバータ４の発電電力がインバータ６の消費電力を上回るとき、余剰電力を吸収して充電する。一方、バッテリー５は、コンバータ４の発電電力がインバータ６の消費電力を下回るとき、不足電力を補うように放電する。

【００２１】

（電気モータ）

電気モータ７は、機体に対して複数設けられている。電気モータ７は、例えばロータ及びステータを有するブラシレスＤＣモータである。電気モータ７とプロペラ８との間には、電気モータ７とプロペラ８とを機械的に接続するプロペラシャフト２６が設けられる。制御信号に応じて電気モータ７のロータが回転することでプロペラ８が回転する。制御信号は、パイロットの操作または自動操縦における指示に基づく航空機を制御するための信号である。電気モータ７は、インバータ６を介してコンバータ４（発電機３）及びバッテリー５と接続される。バッテリー５からの放電電力及び発電機３からの電力のうち少なくとも一方は、インバータ６を介して電気モータ７に供給される。これにより電気モータ７が駆動する。なお、電気モータ７は、不図示の姿勢保持用あるいは水平推進用の補助モータ等を含んでもよい。

30

【００２２】

（プロペラ）

プロペラ８は、複数の電気モータ７に対してそれぞれ設けられている。各プロペラ８の回転数（すなわち電気モータ７の回転数）は独立して制御可能となっている。各プロペラ８の回転数を制御することにより、航空機は所望の飛行状態で飛行する。

40

【００２３】

（複数の制御ユニット）

ガスタービンＥＣＵ１１は、ガスタービン要素２の動作を制御する。ガスタービンＥＣＵ１１は、例えばガスタービン要素２に供給される空気量や燃料流量 W_f を制御することにより、ガスタービン要素２の回転数やトルク等を所望の値に調整する。

発電機ＥＣＵ１２は、発電機３の動作を制御する。発電機ＥＣＵ１２は、ガスタービン要素２から回転軸２５を介して伝達された回転力により発電するための回生トルクの大きさを制御する。回生トルクの大きさは、発電機３に入力される電流値に比例する。つまり

50

、発電機 ECU 12 により発電機 3 に入力される電流量を調節することにより、発電機 3 における回生トルクの大きさを制御可能となっている。ガスタービン要素 2 と発電機 3 とは回転軸 25 により直結されるので、例えばガスタービン要素 2 及び発電機 3 のトルク T 及び回転数 Ne が一定である定常状態から発電機 3 の回生トルクを増大させると、回転軸 25 の回転数（すなわちガスタービン要素 2 及び発電機 3 の回転数）が低下する。一方、定常状態から発電機 3 の回生トルクを減少させると、回転軸 25 の回転数が増加する。

【0024】

バッテリー監視ユニット 13 は、バッテリー 5 内の電力の状態を監視する。

モータ ECU 14 は、複数の電気モータ 7 の動作をそれぞれ制御する。モータ ECU 14 は、各電気モータ 7 に対応して複数設けられてもよい。モータ ECU 14 は、バッテリー 5 からの電力及び発電機 3 からの電力のうち少なくとも一方の電力を用いて任意の電気モータ 7 を所望の回転数で回転させる。

【0025】

飛行状態検出部 15 は、航空機に搭載された各種センサからの検出結果を取得することにより、航空機の飛行状態を検出する。具体的に、飛行状態検出部 15 は、例えば航空機の速度や姿勢、高度等の情報を取得し、さらにこれらの情報に基づいて航空機の要求出力を算出する。飛行状態検出部 15 は、例えばパイロットからの指示や飛行経路等の情報をさらに検出してもよい。

【0026】

フライトコントローラ 16 は、飛行状態検出部 15 の検出結果を取得する。フライトコントローラ 16 は、検出結果に基づいてプロペラ 8 の回転数を決定すると同時に、必要な電力を算出する。フライトコントローラ 16 は、モータ ECU 14 及び後述するハイブリッド制御部 17 と通信可能となっている。

【0027】

ハイブリッド制御部 17 は、フライトコントローラ 16、ガスタービン ECU 11、発電機 ECU 12 及びバッテリー監視ユニット 13 と通信する。ハイブリッド制御部 17 は、フライトコントローラ 16 からの信号を受信するとともに、フライトコントローラ 16 へ信号を送信する。また、ハイブリッド制御部 17 は、フライトコントローラ 16 からの情報に基づいてガスタービン ECU 11、発電機 ECU 12 及びバッテリー監視ユニット 13 へ指令信号を送信するとともに、ガスタービン ECU 11、発電機 ECU 12 及びバッテリー監視ユニット 13 の状態を取得する。ハイブリッド制御部 17 は、負荷変動検出部 31 と、動作点制御部 32 と、を有する。

【0028】

負荷変動検出部 31 は、飛行状態検出部 15 により検出された航空機の飛行状態に基づいて、航空機に対する要求出力の負荷変動を検出する。負荷変動とは、例えば飛行中の外気による外乱等により、プロペラ 8 の負荷が短時間で増減を繰り返すことで生じる要求出力の変動である。例えばホバリング時の姿勢制御を行う際にも負荷変動が生じる場合がある。負荷変動は、航空機が巡航や離着陸、ホバリング等の各種動作を行う際の平均的な負荷である基本負荷に対して、短時間でスパイク状に増減を繰り返すように発生する。すなわち負荷変動は、基本負荷に対しての差分である。

【0029】

負荷変動検出部 31 はさらに、フィードフォワード制御部 33 を有する。

フィードフォワード制御部 33 は、フィードフォワード制御を行うことにより、飛行状態検出部 15 により検出された飛行状態に基づいて負荷変動を予測する。

【0030】

図 2 は、負荷が増加した場合における、動作点制御部 32 による制御を示す動作点マップ 40 である。

動作点制御部 32 は、飛行状態検出部 15 により検出された飛行状態に基づいて、ガスタービン要素 2 及び発電機 3 の動力動作点を制御することにより、負荷変動に対する出力を制御する。動力動作点は、発電機 3 の回転軸 25 における任意のトルク T 及び回転数 N

10

20

30

40

50

eにより定義される所定の出力値を示す値である。動作点制御部32は、図2に示すように、縦軸をトルク T 、横軸を回転数 N_e とした2次元の動作点マップ40を有する。換言すれば、動作点マップ40上において任意のトルク T 及び回転数 N_e の組み合わせにより一意に決定される点が動力動作点であり、動作点制御部32は、この動作点マップ40上の所望の箇所に動力動作点を設定（移動）可能である。

【0031】

動作点制御部32は、負荷変動検出部31により負荷が変動したことが検出された場合、動作点マップ40における動力動作点の位置を移動させる。本実施形態では、動作点制御部32は、フィードフォワード制御部33により予測された負荷変動に応じて、動力動作点の位置を移動させる。

10

【0032】

ここで、負荷変動が検出された場合に、動作点制御部32は、動作点マップ40上に第一動作線41と第二動作線42とを設定する。

第一動作線41は、トルクと回転数の積により定義される出力値が一定である複数の動力動作点を結んだ反比例型の曲線である。つまり、第一動作線41上の任意の動力動作点におけるトルク及び回転数は、 $T \times N_e = \alpha$ （定数）で表される。

第二動作線42は、第一動作線41と同様、トルクと回転数の積により定義される出力値が一定である複数の動力動作点を結んだ反比例型の曲線である。第二動作線42における出力値は第一動作線41の出力値と異なる。つまり、第二動作線42上の任意の動力動作点におけるトルク及び回転数は、 $T \times N_e = \beta$ （定数、 $\alpha \neq \beta$ ）で表される。

20

【0033】

負荷変動が増加する場合には、 $\alpha < \beta$ となるように第一動作線41及び第二動作線42が設定される。

負荷変動が減少する場合には、 $\alpha > \beta$ となるように第一動作線41及び第二動作線42が設定される（図5参照）。

【0034】

（負荷が増加するように変動負荷が生じる場合の動作点制御部の動作）

負荷変動検出部31により負荷の変動（増加）が検出されると、動作点制御部32は、動作点マップ40上において、初期動力動作点51、61を検出するとともに、目標動力動作点62及び復帰動力動作点53、63を設定する。図2における符号51、52及び53は、ガスタービン要素2の動力動作点を示し、符号61、62及び63は、発電機3の動力動作点を示す。

30

【0035】

初期動力動作点51、61は、動作点制御部32による動力動作点の移動制御が実行される前の定常状態において、推進システム1の動力動作点が位置する箇所であり、動作点マップ40における現在の動力動作点である。初期動力動作点51、61は、第一動作線41上に位置している。

目標動力動作点62は、第二動作線42上に位置している。目標動力動作点62は、第二動作線42上において、初期動力動作点51、61の回転数と同等の回転数を有する動力動作点である。

40

復帰動力動作点53、63は、第一動作線41上に位置している。復帰動力動作点53、63は、第一動作線41上において、目標動力動作点62のトルクと同等のトルクを有する動力動作点である。

【0036】

動作点制御部32は、負荷変動検出部31により負荷が変動（増加）したことが検出された場合、まず、既知である初期動力動作点51、61に対して、変動した負荷に対応するための目標動力動作点62を設定する。

【0037】

さらに動作点制御部32は、動力動作点を、第一動作線41上にある初期動力動作点51、61から、回転数を一定にしたまま第二動作線42上の目標動力動作点62（52）

50

へ移動させる。その後、動作点制御部 3 2 は、動力動作点を、第二動作線 4 2 上にある目標動力動作点 6 2 からトルクを一定にしたまま第一動作線 4 1 上の復帰動力動作点 5 3 , 6 3 へ移動させる。その後、動作点制御部 3 2 は、動力動作点を、第一動作線 4 1 上にある復帰動力動作点 5 3 , 6 3 から第一動作線 4 1 に沿って初期動力動作点 5 1 , 6 1 へ移動させる。

【 0 0 3 8 】

上述したように、動作点制御部 3 2 は、負荷変動検出部 3 1 により負荷の変動が検出されると、動作点マップ 4 0 上の動力動作点を、初期動力動作点 5 1 , 6 1、目標動力動作点 6 2 (5 2)、復帰動力動作点 5 3 , 6 3、初期動力動作点 5 1 , 6 1 の順で移動させる。特に発電機 3 における動力動作点を移動させることにより、動作点制御部 3 2 は、負荷変動に追従した電力を出力できるように発電機 3 を制御する。

10

【 0 0 3 9 】

(負荷が増加するように変動負荷が生じる場合の動作点制御部による制御)

次に、負荷が増加するように変動負荷が生じる場合における動作点制御部 3 2 の制御についてより詳細に説明する。

図 3 は、負荷が増加した場合における、動作点制御部 3 2 のブロック図である。図 3 において、ステップ S 0 5 及び S 0 7 は発電機 3 に対する制御であり、ステップ S 0 9 は、ガスタービン要素 2 に対する制御である。それ以外のステップ S 0 1、S 0 3、S 1 1、S 1 3、及び S 1 5 は、発電機 3 及びガスタービン要素 2 の両方に対する共通の制御を表している。

20

【 0 0 4 0 】

図 2 及び図 3 に示すように、まず、負荷変動検出部 3 1 により負荷が増加したことが検出されると、動作点制御部 3 2 は、第一動作線 4 1 から第二動作線 4 2 へのスパイク状の負荷変動を行うように指令信号を送信する (ステップ S 0 1)。ここで、上述したように、負荷が増加する場合、動作点制御部 3 2 は、第一動作線 4 1 の出力に対して第二動作線 4 2 の出力が大きくなるように第二動作線 4 2 を設定する (図 2 参照)。すなわち、 $\alpha < \beta$ となるように第二動作線 4 2 が設定される。よって、第一動作線 4 1 から第二動作線 4 2 へ動力動作点を移動させることにより、発電機 3 からの出力が増加する。

【 0 0 4 1 】

第二動作線 4 2 が設定されると、次に、動作点制御部 3 2 は、スパイク状の負荷を吸収する運転モードに推進システム 1 を移行させる (ステップ S 0 3)。このとき、発電機 3 における動力動作点 6 1 と、ガスタービン要素 2 における動力動作点 5 1 と、は一致している。

30

【 0 0 4 2 】

次に、動作点制御部 3 2 は、発電機 3 に対して、負荷変動に追従するために必要な電力を引き出せる発電機 3 のトルクを算出する (ステップ S 0 5)。さらに、動作点制御部 3 2 は、ステップ S 0 5 で算出したトルクから発電機 3 の目標動力動作点 6 2 を設定し、動力動作点を移動させる。具体的に、動作点制御部 3 2 は、発電機 3 の動力動作点を、第一動作線 4 1 上の初期動力動作点 6 1 から、回転数を一定にしたまま第二動作線 4 2 上の目標動力動作点 6 2 へ移動させる (ステップ S 0 7)。目標動力動作点 6 2 への移動は、発電機 E C U 1 2 から発電機 3 へ供給する電流量を増加させ、発電機 3 における回生トルクの大きさを増加させることにより実現される。このとき発電機 3 のトルクが増加することにより、負荷変動による負荷の増加分を回転軸 2 5 の運動エネルギーにより補うことができる。なお、「回転軸 2 5 の運動エネルギー」は、例えば圧縮機 2 1 やタービン 2 2、連結軸 2 3、回転軸 2 5、発電機 3 を含む回転体全体の運動エネルギーを含む。

40

【 0 0 4 3 】

ステップ S 0 5 及びステップ S 0 7 の制御と同時に、動作点制御部 3 2 は、ガスタービン要素 2 に対して、燃料流量 W_f を一定に保つように制御を行う (ステップ S 0 9)。燃料流量 W_f が一定のため、ガスタービン要素 2 における動作点は変化せず、初期動力動作点 5 1 と同じ動力動作点 5 2 に位置している。

50

【 0 0 4 4 】

次に、動作点制御部 3 2 は、発電機 3 及びガスタービン要素 2 に対して、回転数 N_e を減速しつつ第一動作線 4 1 に戻す制御を行う（ステップ S 1 1）。具体的に、動作点制御部 3 2 は、発電機 3 に対して、動力動作点を、第二動作線 4 2 上にある目標動力動作点 6 2 からトルク T を一定にしたまま第一動作線 4 1 上の復帰動力動作点 6 3 へ移動させる。さらに、動作点制御部 3 2 は、ガスタービン要素 2 に対して、動力動作点を、第一動作線 4 1 上にある動力動作点 5 2 から第一動作線 4 1 上の復帰動力動作点 5 3 へ移動させる。これにより、発電機 3 における復帰動力動作点 6 3 と、ガスタービン要素 2 における復帰動力動作点 5 3 と、が一致する。

【 0 0 4 5 】

次に、動作点制御部 3 2 は、発電機 3 及びガスタービン要素 2 に対して、動力動作点を、第一動作線 4 1 に沿って初期動力動作点 5 1, 6 1 に戻す制御を行う（ステップ S 1 3）。具体的に、動作点制御部 3 2 は、発電機 3 及びガスタービン要素 2 に対して、動力動作点を、第一動作線 4 1 上にある復帰動力動作点 5 3, 6 3 から第一動作線 4 1 に沿って初期動力動作点 5 1, 6 1 へ移動させる。初期動力動作点 5 1, 6 1 へ戻る際、失われた運動エネルギーを補いつつガスタービン要素 2 を加速させるため、ガスタービン要素 2 に供給される燃料流量 W_f が増加する。

【 0 0 4 6 】

初期動力動作点 5 1, 6 1 に戻った後、動作点制御部 3 2 は、定常運転モードに推進システム 1 を移行させ、動力動作点の移動制御を終了する（ステップ S 1 5）。

【 0 0 4 7 】

図 4 は、負荷が増加した場合に取り出される運動エネルギー量を示すグラフである。

図 4 に示すように、上述の制御により発電機 3 の動力動作点が初期動力動作点 6 1、目標動力動作点 6 2、復帰動力動作点 6 3、初期動力動作点 6 1 の順で移動する。これにより、図 4 の各動力動作点で囲まれた領域 R_A に相当する大きさの回転軸 2 5 の運動エネルギーが発電機 3 で変換されて電気エネルギーとして取り出される。取り出された電気エネルギーを負荷の増加分に充てることにより、バッテリー 5 の電力を用いることなく負荷の増加に対して迅速に出力を追従させることが可能となる。

【 0 0 4 8 】

（負荷が減少するように変動負荷が生じる場合の動作点制御部の動作）

次に、負荷が減少するように変動負荷が生じる場合の動作点制御部の動作について説明する。図 5 は、負荷が減少した場合における、動作点制御部 3 2 による制御を示す動作点マップ 4 0 である。

負荷変動検出部 3 1 により負荷の変動（増加）が検出されると、動作点制御部 3 2 は、動作点マップ 4 0 上において、初期動力動作点 7 1, 8 1 を検出するとともに、目標動力動作点 8 2 及び復帰動力動作点 7 3, 8 3 を設定する。図 5 における符号 7 1, 7 2 及び 7 3 は、ガスタービン要素 2 の動力動作点を示し、符号 8 1, 8 2 及び 8 3 は、発電機 3 の動力動作点を示す。

【 0 0 4 9 】

初期動力動作点 7 1, 8 1 は、動作点制御部 3 2 による動力動作点の移動制御が実行される前の定常状態において、推進システム 1 の動力動作点が位置する箇所であり、動作点マップ 4 0 における現在の動力動作点である。初期動力動作点 7 1, 8 1 は、第一動作線 4 1 上に位置している。

目標動力動作点 8 2 は、第二動作線 4 2 上に位置している。目標動力動作点 8 2 は、第二動作線 4 2 上において、初期動力動作点 7 1, 8 1 の回転数と同等の回転数を有する動力動作点である。

復帰動力動作点 7 3, 8 3 は、第一動作線 4 1 上に位置している。復帰動力動作点 7 3, 8 3 は、第一動作線 4 1 上において、目標動力動作点 8 2 のトルクと同等のトルクを有する動力動作点である。

【 0 0 5 0 】

動作点制御部 3 2 は、負荷変動検出部 3 1 により負荷が変動（減少）したことが検出された場合、まず、既知である初期動力動作点 7 1 , 8 1 に対して、変動した負荷に対応するための目標動力動作点 8 2 を設定する。

【 0 0 5 1 】

さらに動作点制御部 3 2 は、動力動作点を、第一動作線 4 1 上にある初期動力動作点 7 1 , 8 1 から、回転数を一定にしたまま第二動作線 4 2 上の目標動力動作点 8 2 (7 2) へ移動させる。その後、動作点制御部 3 2 は、動力動作点を、第二動作線 4 2 上にある目標動力動作点 8 2 からトルクを一定にしたまま第一動作線 4 1 上の復帰動力動作点 7 3 , 8 3 へ移動させる。その後、動作点制御部 3 2 は、動力動作点を、第一動作線 4 1 上にある復帰動力動作点 7 3 , 8 3 から第一動作線 4 1 に沿って初期動力動作点 7 1 , 8 1 へ移動させる。

10

【 0 0 5 2 】

上述したように、動作点制御部 3 2 は、負荷変動検出部 3 1 により負荷の変動が検出されると、動作点マップ 4 0 上の動力動作点を、初期動力動作点 7 1 , 8 1、目標動力動作点 8 2 (7 2)、復帰動力動作点 7 3 , 8 3、初期動力動作点 7 1 , 8 1 の順で移動させる。特に発電機 3 における動力動作点を移動させることにより、動作点制御部 3 2 は、負荷変動に追従した電力を出力できるように発電機 3 を制御する。

【 0 0 5 3 】

(負荷が減少するように変動負荷が生じる場合の動作点制御部による制御)

次に、負荷が減少するように変動負荷が生じる場合における動作点制御部 3 2 の制御について説明する。

20

図 6 は、負荷が減少した場合における動作点制御部 3 2 のブロック図である。図 6 において、ステップ S 2 5 及び S 2 7 は発電機 3 に対する制御であり、ステップ S 2 9 は、ガスタービン要素 2 に対する制御である。それ以外のステップ S 2 1、S 2 3、S 3 1、S 3 3、及び S 3 5 は、発電機 3 及びガスタービン要素 2 の両方に対する共通の制御を表している。

【 0 0 5 4 】

図 5 及び図 6 に示すように、まず、負荷変動検出部 3 1 により負荷が減少したことが検出されると、動作点制御部 3 2 は、第一動作線 4 1 から第二動作線 4 2 へのスパイク状の負荷変動を行うように指令信号を送信する（ステップ S 2 1）。ここで、上述したように、負荷が減少する場合、動作点制御部 3 2 は、第一動作線 4 1 の出力に対して第二動作線 4 2 の出力が小さくなるように第二動作線 4 2 を設定する（図 5 参照）。すなわち、 $\alpha > \beta$ となるように第二動作線 4 2 が設定される。よって、第一動作線 4 1 から第二動作線 4 2 へ動力動作点を移動させることにより、発電機 3 からの出力が減少する。

30

【 0 0 5 5 】

第二動作線 4 2 が設定されると、次に、動作点制御部 3 2 は、スパイク状の負荷を吸収する運転モードに推進システム 1 を移行させる（ステップ S 2 3）。このとき、発電機 3 における動力動作点 8 1 と、ガスタービン要素 2 における動力動作点 7 1 と、は一致している。

【 0 0 5 6 】

40

次に、動作点制御部 3 2 は、発電機 3 に対して、負荷変動に追従するために必要な電力を吸収できる発電機 3 のトルクを算出する（ステップ S 2 5）。さらに、動作点制御部 3 2 は、ステップ S 2 5 で算出したトルクから発電機 3 の目標動力動作点 8 2 を設定し、動力動作点を移動させる。具体的に、動作点制御部 3 2 は、発電機 3 の動力動作点を、第一動作線 4 1 上の初期動力動作点 8 1 から、回転数を一定にしたまま第二動作線 4 2 上の目標動力動作点 8 2 へ移動させる（ステップ S 2 7）。目標動力動作点 8 2 への移動は、発電機 E C U 1 2 から発電機 3 へ供給する電流量を減少させ、発電機 3 における回生トルクの大きさを減少させることにより実現される。このとき発電機 3 のトルク T が減少することにより、負荷変動による負荷の減少分を回転軸 2 5 の運動エネルギーで吸収することができる。

50

【 0 0 5 7 】

ステップ S 2 5 及びステップ S 2 7 の制御と同時に、動作点制御部 3 2 は、ガスタービン要素 2 に対して、燃料流量 W_f を一定に保つように制御を行う（ステップ S 2 9）。燃料流量 W_f が一定のため、ガスタービン要素 2 における動作点は変化せず、初期動力動作点 7 1 と同じ動力動作点 7 2 に位置している。

【 0 0 5 8 】

次に、動作点制御部 3 2 は、発電機 3 及びガスタービン要素 2 に対して、回転数 N_e を加速させつつ第一動作線 4 1 に戻す制御を行う（ステップ S 3 1）。具体的に、動作点制御部 3 2 は、発電機 3 に対して、動力動作点を、第二動作線 4 2 上にある目標動力動作点 8 2 からトルク T を一定にしたまま第一動作線 4 1 上の復帰動力動作点 8 3 へ移動させる。さらに、動作点制御部 3 2 は、ガスタービン要素 2 に対して、動力動作点を、第一動作線 4 1 上にある動力動作点 7 2 から第一動作線 4 1 上の復帰動力動作点 7 3 へ移動させる。これにより、発電機 3 における復帰動力動作点 8 3 と、ガスタービン要素 2 における復帰動力動作点 7 3 と、が一致する。

10

【 0 0 5 9 】

次に、動作点制御部 3 2 は、発電機 3 及びガスタービン要素 2 に対して、動力動作点を、第一動作線 4 1 に沿って初期動力動作点 7 1, 8 1 に戻す制御を行う（ステップ S 3 3）。具体的に、動作点制御部 3 2 は、発電機 3 及びガスタービン要素 2 に対して、動力動作点を、第一動作線 4 1 上にある復帰動力動作点 7 3, 8 3 から第一動作線 4 1 に沿って初期動力動作点 7 1, 8 1 へ移動させる。初期動力動作点 5 1, 6 1 へ戻る際、蓄えられた運動エネルギーを放出するため、ガスタービン要素 2 に供給される燃料流量 W_f が減少する。

20

【 0 0 6 0 】

初期動力動作点 7 1, 8 1 に戻った後、動作点制御部 3 2 は、定常運転モードに推進システム 1 を移行させ、動力動作点の移動制御を終了する（S 3 5）。

【 0 0 6 1 】

図 7 は、負荷が減少した場合に吸収される運動エネルギー量を示すグラフである。

図 7 に示すように、上述の制御により発電機 3 の動力動作点が初期動力動作点 7 1, 8 1、目標動力動作点 7 2, 8 2、復帰動力動作点 7 3, 8 3、初期動力動作点 7 1, 8 1 の順で移動する。これにより、図 7 の各動力動作点で囲まれた領域 R B に相当する大きさの電気エネルギーが回転軸 2 5 の運動エネルギーとして回収される。これにより、余分な電力をバッテリー 5 に蓄電することなく負荷の減少に対して迅速に出力を追従させることが可能となる。

30

【 0 0 6 2 】

さらに、回収された運動エネルギーは、負荷が増加した場合に取り出される運動エネルギーとして利用することが可能である。換言すれば、図 7 の領域 R B に相当する運動エネルギーを、図 4 の領域 R A に相当する運動エネルギーとして利用することが可能である。負荷変動は短時間に増減を繰り返すため、負荷減少時に回収した運動エネルギーを負荷増加時の運動エネルギーとして利用することで、負荷変動に対する制御に用いる燃料流量 W_f を実質的に一定にしたまま動作点制御部 3 2 による制御を行うことが可能となる。

40

【 0 0 6 3 】

（作用、効果）

次に、上述の推進システム 1 の作用、効果について説明する。

本実施形態の推進システム 1 によれば、動作点制御部 3 2 は、負荷変動が生じた場合に、動力動作点を複数の動作線 4 1, 4 2 の間で移動させることにより負荷変動による出力の増減に対応する。具体的に、動作点制御部 3 2 は、始めに第一動作線 4 1 上にある動力動作点（初期動力動作点 5 1, 6 1, 7 1, 8 1）から回転数 N_e を一定にしたまま第二動作線 4 2 上の動力動作点（目標動力動作点 5 2, 6 2, 7 2, 8 2）へ移動させる。これにより、回転軸 2 5 の運動エネルギーと発電機 3 の電気エネルギーとを互いに変換させて、短時間の負荷変動に対応できる。その後、動作点制御部 3 2 は、運動エネルギーの増減に合

50

わせてトルク T 一定のまま回転数 N_e を変化させる。つまり、動作点制御部32は、第二動作線42上にある動力動作点(目標動力動作点52, 62, 72, 82)からトルクを一定にしたまま第一動作線41上の動力動作点(復帰動力動作点53, 63, 73, 83)へ移動させる。これにより、回転数 N_e を変速させつつ当初の第一動作線41に戻す。最後に、動作点制御部32は、復帰動力動作点53, 63, 73, 83から第一動作線41に沿ってトルク T 及び回転数 N_e を変化させることにより第一動作線41上の初期動力動作点51, 61, 71, 81に戻す。これにより、同じ動作線上であってもより効率の良い動作点で運転させることができる。このように動作点を初期動力動作点51, 61, 71, 81、目標動力動作点52, 62, 72, 82、復帰動力動作点53, 63, 73, 83、初期動力動作点51, 61, 71, 81の順に移動させることで、ガスタービン要素2及び発電機3間の回転軸25の運動エネルギーを出力として取り出し又は蓄積することができる。つまり、バッテリー5からの電力の出し入れの代わりに回転軸25の運動エネルギーを用いてスパイク状の負荷変動に対応可能となる。よって、必要以上にバッテリー5を大型化する必要が無く、バッテリー5からの電力で負荷変動に対応する従来技術と比較して、バッテリー5を小型化できる。また、バッテリー5の利用頻度が減少するため、バッテリー5に関する冷却系を小型化できるとともにバッテリー5の寿命低下を抑制できる。

10

したがって、従来技術と比較してバッテリー5及びその冷却系を小型化するとともに、バッテリー5寿命の低下を抑制することが可能な航空機の推進システム1を提供できる。

【0064】

負荷が増加する場合、動作点制御部32は、第一動作線41の出力 α に対して第二動作線42の出力 β が大きくなるように第二動作線42を設定する。すなわち、動作点制御部32は、始めに第一動作線41上の初期動力動作点51, 61から回転数 N_e を一定にしたまま第二動作線42上の目標動力動作点52, 62へ移動させる。これにより、回転軸25の運動エネルギーを利用して発電機3側での発電電力を増加させ、短時間での負荷増加に対応することができる。その後、動作点制御部32は、運動エネルギーの減少に合わせて回転数 N_e を減少させる。つまり、動作点制御部32は、第二動作線42上の目標動力動作点52, 62からトルク T を一定にしたまま第一動作線41上の復帰動力動作点53, 63へ移動させる。これにより、回転数 N_e を減少させつつ当初の第一動作線41に戻す。最後に、動作点制御部32は、復帰動力動作点53, 63から第一動作線41に沿ってトルク T 及び回転数 N_e を変化させることにより初期動力動作点51, 61に戻す。このように、負荷が増加する場合には、動作点を移動させることにより運動エネルギーを電気エネルギーとして取り出すことができる。よって、バッテリー5から電力を取り出すことなく負荷変動の増加に対応できる。

20

30

【0065】

負荷が減少する場合、動作点制御部32は、第一動作線41の出力 α に対して第二動作線42の出力 β が小さくなるように第二動作線42を設定する。すなわち、動作点制御部32は、始めに第一動作線41上の初期動力動作点71, 81から回転数 N_e を一定にしたまま第二動作線42上の目標動力動作点72, 82へ移動させる。これにより、負荷低下に対応するために発電機3が電力変換せずに残った余分の運動エネルギーを回転軸25の運動エネルギーとして吸収(蓄積)させ、短時間での負荷減少に対応することができる。その後、動作点制御部32は、運動エネルギーの増加に合わせて回転数 N_e を増加させる。つまり、動作点制御部32は、第二動作線42上の目標動力動作点72, 82からトルク T を一定にしたまま第一動作線41上の復帰動力動作点73, 83へ移動させる。これにより、回転数 N_e を増加させつつ当初の第一動作線41に戻す。最後に、動作点制御部32は、復帰動力動作点73, 83から第一動作線41に沿ってトルク T 及び回転数 N_e を変化させることにより初期動力動作点71, 81に戻す。このように、負荷が減少する場合には、動作点を移動させることにより発電機3が電力変換せずに残った余分な運動エネルギーを回転軸25の運動エネルギーとして吸収(蓄積)させることができる。よって、バッテリー5に電力を蓄電させることなく負荷変動の減少に対応できる。

40

さらに、負荷の減少時に吸収された運動エネルギーを、負荷が増加した場合の発電エネル

50

ギとして利用することができる。この場合、負荷が増加した際に取り出された運動エネルギーを、蓄積されていた運動エネルギーで賄うことができるので、燃料流量 W_f を増加させることなく負荷の増加に対応できる。よって燃費の悪化を抑制できる。

【0066】

負荷変動検出部 31 は、フィードフォワード制御により負荷変動を予測するフィードフォワード制御部 33 を有し、動作点制御部 32 は、フィードフォワード制御部 33 で予測された負荷変動に基づいて動力動作点を制御する。これにより、より迅速に要求出力の負荷変動に対応することができる。よって、航空機の推進システム 1 における応答性を向上できる。

【0067】

なお、本発明の技術範囲は上述した実施形態に限定されるものではなく、本発明の趣旨を逸脱しない範囲において種々の変更を加えることが可能である。

例えば、上述の実施形態では、単一のガスタービン要素 2 を有する構成について説明したが、推進システム 1 が複数のガスタービン要素 2 を有していてもよい。すなわち、推進システム 1 は、複数のガスタービン要素 2 と、各ガスタービン要素 2 に対応する複数のガスタービン ECU 11 と、発電機 3 と、コンバータ 4 と、発電機 ECU 12 と、を有してもよい。推進システム 1 は、複数のバッテリー 5（及びバッテリー監視ユニット 13）を有してもよい。推進システム 1 は、複数のインバータ 6 と、複数の電気モータ 7（及びモータ ECU 14）と、各電気モータ 7 に対応する複数のプロペラ 8 と、を有してもよい。

発電機 3 は、軸方向において圧縮機 21 とタービン 22 との間に配置されてもよい。

【0068】

負荷が増加した場合において、復帰動力動作点 53, 63 から初期動力動作点 51, 61 へ移動させる制御は、省略してもよい。この場合、負荷が減少した場合の制御が実行されるまで復帰動力動作点 53, 63 で待機し、負荷の減少が検出された場合に、初期動力動作点 71, 81 から復帰動力動作点 73, 83 まで移動させることにより、負荷が増加した場合の復帰動力動作点 53, 63 から初期動力動作点 51, 61 への移動に代えてもよい。すなわち、負荷が増加した場合の復帰動力動作点 53, 63 と、負荷が減少した場合の初期動力動作点 71, 81 とが一致するものとして運動エネルギーの取り出しと吸収とを交互に行わせてもよい。このように構成した場合、上述したように、動力動作点の移動に伴う燃料流量 W_f を一定にできるので、燃料消費を抑制することができる。

【0069】

その他、本発明の趣旨を逸脱しない範囲で、上述した実施形態における構成要素を周知の構成要素に置き換えることは適宜可能であり、また、上述した実施形態を適宜組み合わせてもよい。

【符号の説明】

【0070】

- 1 航空機の推進システム
- 2 ガスタービン要素
- 3 発電機
- 5 バッテリー
- 7 電気モータ
- 8 プロペラ
- 15 飛行状態検出部
- 21 圧縮機
- 22 タービン
- 25 回転軸
- 31 負荷変動検出部
- 32 動作点制御部
- 33 フィードフォワード制御部
- 40 動作点マップ

10

20

30

40

50

4 1 第一動作線

4 2 第二動作線

5 1 , 6 1 , 7 1 , 8 1 初期動力動作点 (動力動作点)

5 2 , 6 2 , 7 2 , 8 2 目標動力動作点 (動力動作点)

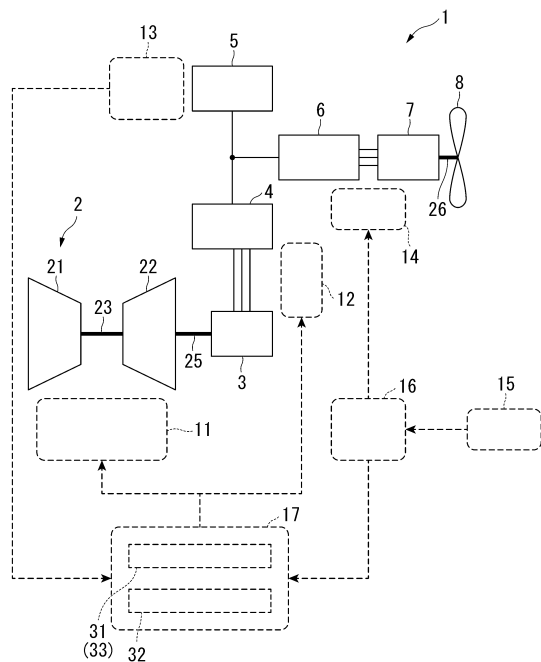
5 3 , 6 3 , 7 3 , 8 3 復歸動力動作点 (動力動作点)

T トルク

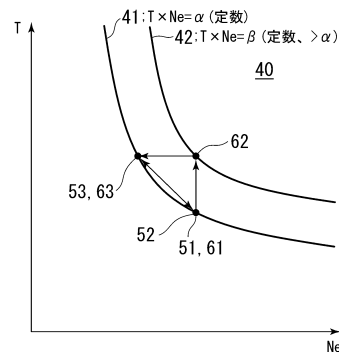
N e 回轉數

【圖面】

【圖 1】



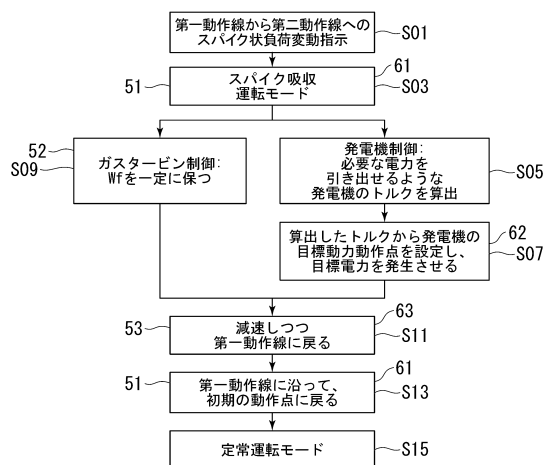
【図 2】



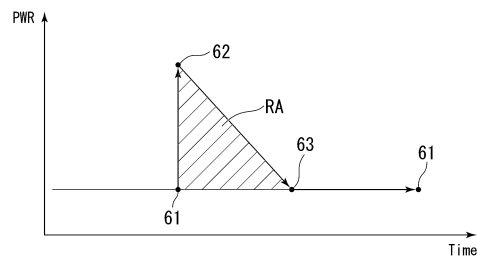
10

20

【圖 3】



【 図 4 】

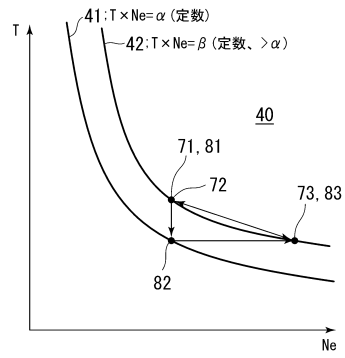


30

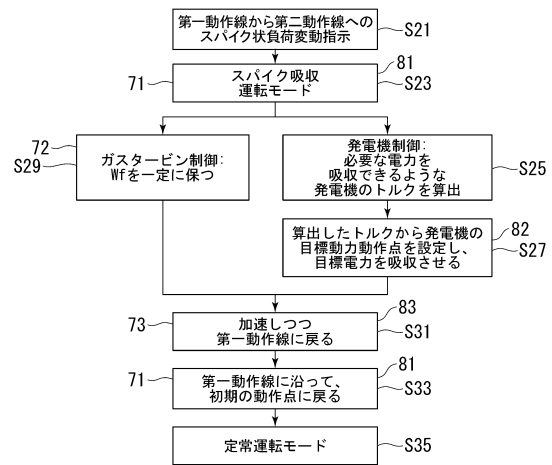
40

50

【 図 5 】

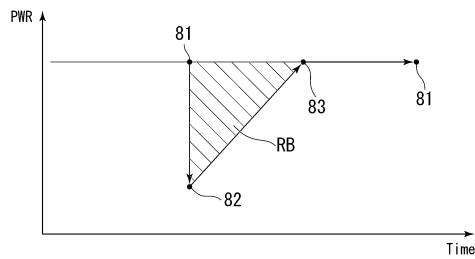


【 図 6 】



10

【 図 7 】



20

30

40

50

フロントページの続き

埼玉県和光市中央 1 丁目 4 番 1 号 株式会社本田技術研究所内

審査官 塚本 英隆

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

特開 2 0 0 0 - 0 8 7 7 7 4 (J P , A)

特開 2 0 1 5 - 0 4 7 9 3 5 (J P , A)

(58)調査した分野 (Int.Cl. , D B 名)

B 6 4 D 4 1 / 0 0

B 6 4 D 2 7 / 2 4

H 0 2 P 9 / 0 4