

(19)日本国特許庁(JP)

(12)公開特許公報(A)

(11)公開番号

特開2022-15997
(P2022-15997A)

(43)公開日 令和4年1月21日(2022.1.21)

(51)国際特許分類	F I	テーマコード(参考)
F 0 2 D 45/00 (2006.01)	F 0 2 D 45/00 3 7 0	3 G 3 8 4
	F 0 2 D 45/00 3 6 0 Z	

審査請求 未請求 請求項の数 21 O L (全20頁)

(21)出願番号	特願2020-119229(P2020-119229)	(71)出願人	503405689 ナプテスコ株式会社 東京都千代田区平河町二丁目7番9号
(22)出願日	令和2年7月10日(2020.7.10)	(71)出願人	501204525 国立研究開発法人 海上・港湾・航空技術研究所 東京都三鷹市新川6丁目38番1号
		(74)代理人	100105924 弁理士 森下 賢樹
		(72)発明者	川谷 聖 東京都千代田区平河町二丁目7番9号 ナプテスコ株式会社内
		(72)発明者	藤原 真 東京都千代田区平河町二丁目7番9号 ナプテスコ株式会社内

最終頁に続く

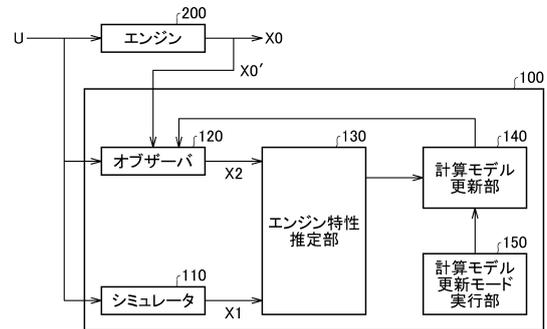
(54)【発明の名称】 エンジン特性推定装置、エンジン特性推定方法、エンジン特性推定プログラム、およびエンジン状態推定装置

(57)【要約】

【課題】エンジンの特性の変化を高精度に推定することのできるエンジン特性推定装置を提供する。

【解決手段】エンジン特性推定装置100は、第1計算モデルとエンジン200への燃料供給量とに基づいて第1エンジン状態パラメータX1を計算する第1計算部と、第2計算モデルとエンジン200の動作データとに基づいて第2エンジン状態パラメータX2を計算する第2計算部と、第1エンジン状態パラメータX1および第2エンジン状態パラメータX2に基づいて、エンジン200の特性を推定するエンジン特性推定部130とを備える。

【選択図】図1



【特許請求の範囲】**【請求項 1】**

エンジンの特性を表す第 1 計算モデルと、任意の時点において前記エンジンに供給される燃料供給量とに基づいて、前記エンジンの状態変数である第 1 エンジン状態パラメータを計算する第 1 計算部と、

前記エンジンの特性を表す前記第 1 計算モデルと異なる第 2 計算モデルと、前記任意の時点において駆動されている前記エンジンの動作に関する動作データとに基づいて、前記エンジンの状態変数である第 2 エンジン状態パラメータを計算する第 2 計算部と、

前記第 1 エンジン状態パラメータおよび前記第 2 エンジン状態パラメータに基づいて、前記任意の時点における前記エンジンの特性を推定するエンジン特性推定部とを備えるエンジン特性推定装置。

10

【請求項 2】

前記第 1 計算モデルは、前記エンジンの初期状態の特性を表す

請求項 1 に記載のエンジン特性推定装置。

【請求項 3】

前記エンジン特性推定部で推定された前記エンジンの特性に基づき前記第 2 計算モデルを更新する計算モデル更新部を備える

請求項 1 または 2 に記載のエンジン特性推定装置。

【請求項 4】

前記第 2 計算モデルは、前記第 2 計算部の特性を表すシステム係数行列を含み、

前記計算モデル更新部は、前記システム係数行列中の少なくとも一つの要素を更新する

請求項 3 に記載のエンジン特性推定装置。

20

【請求項 5】

前記エンジン特性推定部は、前記第 1 エンジン状態パラメータと前記第 2 エンジン状態パラメータの差分を演算する差分演算部を備え、当該差分に基づいて前記エンジンの特性を推定し、

前記計算モデル更新部は、前記差分が所定の閾値を超えた場合に前記第 2 計算モデルを更新する

請求項 3 または 4 に記載のエンジン特性推定装置。

【請求項 6】

前記計算モデル更新部は、前記差分が前記閾値を超える状態が所定時間継続した場合に前記第 2 計算モデルを更新する

請求項 5 に記載のエンジン特性推定装置。

30

【請求項 7】

前記計算モデル更新部による前記第 2 計算モデルの更新を行うための更新モードを実行する計算モデル更新モード実行部を備え、

前記計算モデル更新部は、前記更新モード中に前記エンジン特性推定部で推定された前記エンジンの特性に基づき、前記第 2 計算モデルを更新する

請求項 3 から 6 のいずれかに記載のエンジン特性推定装置。

【請求項 8】

前記エンジン特性推定部は、前記エンジンの特性として、燃焼効率、動力伝達効率、動特性、エンジン本体に流入する空気の圧力を高める過給器の効率、エンジンへの外乱影響の少なくとも一つを推定する

請求項 1 から 7 のいずれかに記載のエンジン特性推定装置。

40

【請求項 9】

前記エンジン特性推定部は、前記第 1 エンジン状態パラメータと前記第 2 エンジン状態パラメータの差分を演算する差分演算部を備え、当該差分に基づいて前記エンジンの特性を推定する

請求項 1 から 8 のいずれかに記載のエンジン特性推定装置。

【請求項 10】

50

前記差分演算部は、複数の差分器を備え、
当該複数の差分器は、前記第 1 エンジン状態パラメータに含まれる複数のパラメータと、それらに対応する前記第 2 エンジン状態パラメータに含まれる複数のパラメータのそれぞれの差分を演算する

請求項 9 に記載のエンジン特性推定装置。

【請求項 11】

前記動作データは、エンジン本体の動作に関するエンジン本体データと、前記エンジン本体に流入する空気の圧力を高める過給器の動作に関する過給器データとを含む

請求項 1 から 10 のいずれかに記載のエンジン特性推定装置。

【請求項 12】

前記エンジン本体データは、前記エンジン本体の回転数、排気温、排気圧、排気量の少なくとも一つを含む

請求項 11 に記載のエンジン特性推定装置。

【請求項 13】

前記過給器データは、前記過給器の回転数、給気温、給気圧、給気量、掃気温、掃気圧、掃気量の少なくとも一つを含む

請求項 11 または 12 に記載のエンジン特性推定装置。

【請求項 14】

前記動作データは、前記エンジンの機械的な動作に関する機械的データと、前記エンジンの熱力学的状態に関する熱力学的データとを含む

請求項 1 から 13 のいずれかに記載のエンジン特性推定装置。

【請求項 15】

前記機械的データは、エンジン本体の回転数、前記エンジン本体に流入する空気の圧力を高める過給器の回転数の少なくとも一つを含む

請求項 14 に記載のエンジン特性推定装置。

【請求項 16】

前記熱力学的データは、排気温、排気圧、排気量、給気温、給気圧、給気量、掃気温、掃気圧、掃気量の少なくとも一つを含む

請求項 14 または 15 に記載のエンジン特性推定装置。

【請求項 17】

前記第 2 計算部は、前記動作データに加え前記燃料供給量に基づいて前記第 2 エンジン状態パラメータを計算する

請求項 1 から 16 のいずれかに記載のエンジン特性推定装置。

【請求項 18】

前記エンジンは、定格回転数が毎分 1000 回転以下の船舶用のエンジンである

請求項 1 から 17 のいずれかに記載のエンジン特性推定装置。

【請求項 19】

エンジンの特性を表す第 1 計算モデルと、任意の時点において前記エンジンに供給される燃料供給量とに基づいて、前記エンジンの状態変数である第 1 エンジン状態パラメータを計算する第 1 計算ステップと、

前記エンジンの特性を表す前記第 1 計算モデルと異なる第 2 計算モデルと、前記任意の時点において駆動されている前記エンジンの動作に関する動作データとに基づいて、前記エンジンの状態変数である第 2 エンジン状態パラメータを計算する第 2 計算ステップと、

前記第 1 エンジン状態パラメータおよび前記第 2 エンジン状態パラメータに基づいて、前記任意の時点における前記エンジンの特性を推定するエンジン特性推定ステップと

を有するエンジン特性推定方法。

【請求項 20】

エンジンの特性を表す第 1 計算モデルと、任意の時点において前記エンジンに供給される燃料供給量とに基づいて、前記エンジンの状態変数である第 1 エンジン状態パラメータを計算する第 1 計算ステップと、

10

20

30

40

50

前記エンジンの特性を表す前記第 1 計算モデルと異なる第 2 計算モデルと、前記任意の時点において駆動されている前記エンジンの動作に関する動作データとに基づいて、前記エンジンの状態変数である第 2 エンジン状態パラメータを計算する第 2 計算ステップと、前記第 1 エンジン状態パラメータおよび前記第 2 エンジン状態パラメータに基づいて、前記任意の時点における前記エンジンの特性を推定するエンジン特性推定ステップとをコンピュータに実行させるエンジン特性推定プログラム。

【請求項 2 1】

エンジンの特性を表す第 1 計算モデルと、任意の時点において前記エンジンに供給される燃料供給量とに基づいて、前記エンジンの状態変数である第 1 エンジン状態パラメータを計算する第 1 計算部と、

10

前記エンジンの特性を表す前記第 1 計算モデルと異なる第 2 計算モデルと、前記任意の時点において駆動されている前記エンジンの動作に関する動作データとに基づいて、前記エンジンの状態変数である第 2 エンジン状態パラメータを計算する第 2 計算部と、前記第 1 エンジン状態パラメータおよび前記第 2 エンジン状態パラメータに基づいて、前記任意の時点における前記エンジンの状態を推定するエンジン状態推定部とを備えるエンジン状態推定装置。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明はエンジンの特性推定技術および状態推定技術に関する。

20

【背景技術】

【0002】

エンジンは船舶、自動車、航空機等で広く利用されているが、環境問題への意識の高まりもあって、近年さらなる高効率化が求められている。エンジンの効率を高めるためには、エンジンの状態を高精度に推定し、その推定結果に基づきエンジンを最適に制御する必要がある。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0003】

【特許文献 1】特表 2009 - 510327 号公報

30

【特許文献 2】特開 2015 - 222074 号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0004】

特許文献 1 には、状態オブザーバによってエンジンの状態を推定する技術が開示されている。状態オブザーバは、エンジンの特性を表す行列を用い、エンジンの各種の測定データから、エンジンの状態を表すパラメータを演算する。この演算では、行列がエンジンの特性を正確に表している場合は、エンジンの状態パラメータを高精度に算出することができる。一方で、経年劣化や吸気温度等の外部環境の変化によりエンジンの特性が変化した場合、行列がエンジンの特性を正確に反映したもではなくなるため、エンジンの状態の推定精度が低下してしまう。

40

【0005】

本発明はこうした状況に鑑みてなされたものであり、その目的は、エンジンの特性が変化した場合であっても、それを高精度に推定することのできるエンジン特性推定装置を提供することにある。また、本発明の他の目的は、エンジンの状態を高精度に推定することのできるエンジン状態推定装置を提供することにある。

【課題を解決するための手段】

【0006】

上記課題を解決するために、本発明のある態様のエンジン特性推定装置は、エンジンの特性を表す第 1 計算モデルと、任意の時点においてエンジンに供給される燃料供給量とに基

50

づいて、エンジンの状態変数である第1エンジン状態パラメータを計算する第1計算部と、エンジンの特性を表す第1計算モデルと異なる第2計算モデルと、任意の時点において駆動されているエンジンの動作に関する動作データとに基づいて、エンジンの状態変数である第2エンジン状態パラメータを計算する第2計算部と、第1エンジン状態パラメータおよび第2エンジン状態パラメータに基づいて、任意の時点におけるエンジンの特性を推定するエンジン特性推定部とを備える。

【0007】

この態様において、第1計算部の計算で使用される燃料供給量は、経年劣化や吸気温度等の外部環境の変化によるエンジンの特性変化の影響を受けないデータであるため、その計算結果である第1エンジン状態パラメータはエンジンの特性変化の影響を受けない。これ
10
に対して、第2計算部の計算で使用されるエンジンの動作データは、エンジンの特性変化の影響を受けるデータであるため、その計算結果である第2エンジン状態パラメータはエンジンの特性変化の影響を受ける。このようにエンジン特性変化の影響が異なる二種類のエンジン状態パラメータを用いることにより、エンジン特性推定部はエンジンの特性変化を高精度に推定することができる。なお、エンジンの特性変化がない場合でも、計算モデルの異なる二つの計算部を併用することにより、エンジンの状態を高精度に推定することができる。

【0008】

本発明の別の態様は、エンジン特性推定方法である。この方法は、エンジンの特性を表す第1計算モデルと、任意の時点においてエンジンに供給される燃料供給量とに基づいて、
20
エンジンの状態変数である第1エンジン状態パラメータを計算する第1計算ステップと、エンジンの特性を表す第1計算モデルと異なる第2計算モデルと、任意の時点において駆動されているエンジンの動作に関する動作データとに基づいて、エンジンの状態変数である第2エンジン状態パラメータを計算する第2計算ステップと、第1エンジン状態パラメータおよび第2エンジン状態パラメータに基づいて、任意の時点におけるエンジンの特性を推定するエンジン特性推定ステップとを有する。

【0009】

本発明の別の態様は、エンジン状態推定装置である。この装置は、エンジンの特性を表す第1計算モデルと、任意の時点においてエンジンに供給される燃料供給量とに基づいて、
30
エンジンの状態変数である第1エンジン状態パラメータを計算する第1計算部と、エンジンの特性を表す第1計算モデルと異なる第2計算モデルと、任意の時点において駆動されているエンジンの動作に関する動作データとに基づいて、エンジンの状態変数である第2エンジン状態パラメータを計算する第2計算部と、第1エンジン状態パラメータおよび第2エンジン状態パラメータに基づいて、任意の時点におけるエンジンの状態を推定するエンジン状態推定部とを備える。

【0010】

この態様によれば、計算モデルの異なる二つの計算部を併用することにより、エンジンの状態を高精度に推定することができる。

【0011】

なお、以上の構成要素の任意の組合せ、本発明の表現を方法、装置、システム、記録媒体
40
、コンピュータプログラムなどの間で変換したものもまた、本発明の態様として有効である。

【発明の効果】

【0012】

本発明によれば、エンジンの特性が変化した場合であっても、それを高精度に推定することができる。また、エンジンの状態を高精度に推定することができる。

【図面の簡単な説明】

【0013】

【図1】実施の形態に係るエンジン特性推定装置の全体構成を示す図である。

【図2】エンジンの構成を示す図である。

10

20

30

40

50

【図 3】他のエンジンの構成を示す図である。

【図 4】シミュレータとオブザーバの構成を示す図である。

【図 5】エンジン特性推定部の構成を示す図である。

【図 6】エンジン特性推定装置によるエンジン特性推定の処理フローを示すフローチャートである。

【図 7】エンジン特性推定装置によるエンジン特性推定の一例を示す模式図である。

【発明を実施するための形態】

【0014】

図 1 は、本実施の形態に係るエンジン特性推定装置 100 の全体構成を示す模式図である。まず、エンジン特性推定装置 100 による特性推定の対象であるエンジン 200 は、1 10 1
燃焼当たりの燃料供給量 U で指定される量の燃料の供給を受けて駆動され、動力を発生する。そして、その動作状態に応じてエンジン 200 の状態変数である状態パラメータ X_0 が変化する。ここで、 X_0 は複数のパラメータを含むベクトルである（2 以上の自然数 n をパラメータ数として、各パラメータを X_{01} 、 X_{02} 、...、 X_{0n} と表す）。エンジン 200 の状態パラメータ X_0 として何を選択するかは、エンジンシステムの制御目標や仕様に応じて適宜決定することができるが、典型的にはエンジン本体の回転数、排気圧、排気温、排気量等を選択するのが好ましい。また、エンジン本体に流入する空気の圧力を高める過給器を用いる場合は、過給器のパラメータ、例えば、回転数、給気温、給気圧、給気量、掃気温、掃気圧、掃気量等を状態パラメータ X_0 の中に含めることが好ましい。

【0015】

なお、本実施の形態のエンジン特性推定においては、エンジン 200 が外部に対して発生する動力よりも、エンジン 200 内部の状態パラメータ X_0 に着目することが重要であるので、エンジン 200 は 1 燃焼当たりの燃料供給量 U の入力に基づき状態パラメータ X_0 を出力するブロックとして図示されている。

【0016】

エンジン特性推定装置 100 は、エンジン 200 の特性推定を行う装置であり、第 1 計算部としてのシミュレータ 110 と、第 2 計算部としてのオブザーバ 120 と、エンジン特性推定部 130 と、計算モデル更新部 140 と、計算モデル更新モード実行部 150 を備える。

【0017】

シミュレータ 110 は、エンジン 200 の特性を表す第 1 計算モデルと、任意の時点においてエンジン 200 に供給される 1 燃焼当たりの燃料供給量 U とに基づいて、エンジン 200 の状態変数である第 1 エンジン状態パラメータ X_1 を計算する。ここで、 X_1 は複数のパラメータを含むベクトルである（パラメータ数は状態パラメータ X_0 と同じく n であり、各パラメータを X_{11} 、 X_{12} 、...、 X_{1n} とする）。

【0018】

オブザーバ 120 は、エンジン 200 の特性を表す第 1 計算モデルと異なる第 2 計算モデルと、任意の時点において駆動されているエンジン 200 の動作に関する動作データ X_0' および 1 燃焼当たりの燃料供給量 U に基づいて、エンジン 200 の状態変数である第 2 エンジン状態パラメータ X_2 を計算する。ここで、 X_2 は複数のパラメータを含むベクトルである（パラメータ数は状態パラメータ X_0 と同じく n であり、ベクトルの要素を X_{21} 、 X_{22} 、...、 X_{2n} とする）。

【0019】

オブザーバ 120 への入力である動作データ X_0' は、エンジン 200 の状態パラメータ X_0 に含まれる一部（1 以上 n 未満）の状態パラメータである。実際のエンジン 200 においては、状態パラメータ X_0 に含まれる n 個全てのパラメータを測定するセンサを設けることはコストや設置上の制約により現実的ではないため、一部のパラメータ X_0' のみが測定されてオブザーバ 120 への入力とされる。その一部のパラメータ X_0' を補完し、全ての状態パラメータ X_2 を推定するのがオブザーバ 120 の基本的な機能である。

【0020】

10

20

30

40

50

エンジン特性推定部 130 は、第 1 エンジン状態パラメータ X 1 および第 2 エンジン状態パラメータ X 2 に基づいて、任意の時点におけるエンジン 200 の特性を推定する。具体的には、第 1 エンジン状態パラメータ X 1 と第 2 エンジン状態パラメータ X 2 の差分を演算し、それに基づいてエンジン 200 の特性を推定する。

【0021】

計算モデル更新部 140 は、エンジン特性推定部 130 で推定されたエンジン 200 の特性に基づきオブザーバ 120 の第 2 計算モデルを更新する。

計算モデル更新モード実行部 150 は、計算モデル更新部 140 による第 2 計算モデルの更新を行うための更新モードを実行する。

【0022】

続いて、上記の各構成を他の図を参照してより詳細に説明する。

図 2 は、エンジン 200 の構成を示す模式図である。本実施の形態において、エンジン 200 の用途は限定されず、船舶用、車両用、航空機用等の様々なエンジン 200 を用いることができる。エンジン 200 は、燃料の燃焼により動力を発生するエンジン本体 210 と、燃料を燃焼させる空気をエンジン本体 210 に供給する吸気路 220 と、エンジン本体 210 における燃焼後の気体を排出する排気路 230 と、吸気路 220 を通じてエンジン本体 210 に供給される空気の圧力を高める過給器 240 を備える。

【0023】

エンジン本体 210 は、空気による燃料の燃焼が起こる燃焼室 211 と、燃焼室 211 内に 1 燃焼当たりの燃料供給量 U により指定される量の燃料を供給する燃料供給ノズル 212 と、吸気路 220 からの空気の燃焼室 211 への供給を制御する吸気弁 213 と、燃焼室 211 から排気路 230 への空気の排出を制御する排気弁 214 と、燃焼室 211 における燃料の燃焼に応じて直線上に駆動されるピストン 215 と、ピストン 215 の直線上の運動に伴って回転駆動されるクランクシャフト 216 と、一端がピストン 215 に固定され他端がクランクシャフト 216 に固定されてピストン 215 の直線運動をクランクシャフト 216 の回転運動に変換するコネクティングロッド 217 を備える。なお、上記では燃料供給ノズル 212 により燃料を燃焼室 211 内に直接供給する構成としたが、ガソリン等の揮発性の高い燃料を使用する場合は、吸気路 220 内に燃料を噴射し、空気と混合した状態で燃焼室 211 内に供給してもよい。

【0024】

上記の構成において、エンジン 200 は以下のサイクルで駆動される。ここで、エンジン 200 は前サイクル以前の駆動によって動作状態にあるものとし、慣性により回転を続けるクランクシャフト 216 の動作に応じてピストン 215 が上昇と下降を繰り返すものとする。

【0025】

(1) 吸気：吸気弁 213 が開き、排気弁 214 が閉じ、ピストン 215 が下降することで、吸気路 220 から燃焼室 211 に空気が供給される。

(2) 圧縮：吸気弁 213 が閉じ、ピストン 215 が上昇することで、燃焼室 211 内の空気が圧縮される。

(3) 燃焼：燃料供給ノズル 212 から燃焼室 211 内に 1 燃焼当たりの燃料供給量 U により指定される量の燃料が供給され、圧縮された空気とともに燃焼される。これによって動力が発生し、ピストン 215 が下降する。

(4) 排気：排気弁 214 が開き、ピストン 215 が上昇することで、燃焼後の気体が燃焼室 211 から排気路 230 に排出される。

【0026】

過給器 240 は、いわゆるターボチャージャーであり、吸気路 220 に設けられたコンプレッサ 241 と、排気路 230 に設けられたタービン 242 と、コンプレッサ 241 およびタービン 242 を同軸上で結合する軸 243 を備える。排気路 230 から排出される気体によりタービン 242 が回転し、その回転が軸 243 を介してコンプレッサ 241 に伝わる。このように回転されるコンプレッサ 241 によって、吸気路 220 に供給される空気

10

20

30

40

50

が圧縮されるため、燃焼室 2 1 1 に供給される空気の圧力を高めることができる。

【 0 0 2 7 】

なお、図 2 では (1) 吸気、(2) 圧縮、(3) 燃焼、(4) 排気の 4 つの行程を 1 サイクルとするいわゆる 4 ストロークエンジンを例に挙げて説明したが、本実施の形態では、エンジンのタイプはこれに限定されず、様々なタイプのエンジンを使用することができる。例えば、図 3 に示されるいわゆる 2 ストロークエンジンを使用することができる (図 2 と対応する構成要素については同一の符号を付している)。

【 0 0 2 8 】

2 ストロークエンジンのエンジン本体 2 1 0 は、上述の 4 ストロークエンジンと同様に、燃焼室 2 1 1 における燃料の燃焼によってピストン 2 1 5 を直線上に駆動し、それをクランクシャフト 2 1 6 の回転動力に変換するものである。両タイプのエンジンにおいて主要な構造はほとんど共通であるが、2 ストロークエンジンでは、エンジン本体 2 1 0 においてクランクシャフト 2 1 6 を収容するクランクケース 2 1 8 と燃焼室 2 1 1 を連結する掃気路 2 1 9 が設けられている点が一つの違いである。

10

【 0 0 2 9 】

ピストン 2 1 5 が下降している図示の状態において、クランクケース 2 1 8、掃気路 2 1 9、燃焼室 2 1 1、排気路 2 3 0 を通る経路は気体が流通可能となっており、クランクケース 2 1 8 内の新しい空気が、掃気路 2 1 9 を通じて燃焼室 2 1 1 に流入するとともに、その勢いで燃焼後の気体を排気路 2 3 0 に排出する (掃気)。

【 0 0 3 0 】

それに続いてピストン 2 1 5 が上昇すると、掃気路 2 1 9 および排気路 2 3 0 を閉塞し、燃焼室 2 1 1 が密閉されてその圧力が上昇する。そして、高圧になった燃焼室 2 1 1 内に燃料供給ノズル 2 1 2 から燃料を供給することにより燃焼が引き起こされ、ピストン 2 1 5 を再び下降させる動力が発生する。一方、ピストン 2 1 5 の上昇時にはクランクケース 2 1 8 と吸気路 2 2 0 が連通し、新しい空気が吸気路 2 2 0 からクランクケース 2 1 8 内に流入する。このように、ピストン 2 1 5 の上昇時には、燃焼室 2 1 1 における燃焼とクランクケース 2 1 8 における吸気が同時に行われる。

20

【 0 0 3 1 】

以上のように、2 ストロークエンジンにおいては、ピストン 2 1 5 の一回の下降と一回の上昇の合計 2 ストロークで 1 サイクルが完了する。このような 2 ストロークエンジンにおいて、図 2 に示される過給器 2 4 0 を使用すると、ピストン 2 1 5 上昇時におけるクランクケース 2 1 8 への吸気と、ピストン 2 1 5 下降時における燃焼室 2 1 1 への掃気の圧力を高めることができる。

30

【 0 0 3 2 】

なお、2 ストロークエンジンとしては、特許文献 2 に開示されているような掃気用の空気を収容する掃気レシーバを有するものを使用してもよい。この場合、図 3 についての上記の掃気の説明と同様に、ピストン (4 1 : 特許文献 2 中の符号 (以下同じ)) が下降している状態において、掃気レシーバ (2)、クランクケース 2 1 8 および掃気路 2 1 9 に対応する掃気口 (1 7)、燃焼室 2 1 1 に対応するシリンダ (1)、排気路 2 3 0 に対応する排気ダクト (6) を通る経路は気体が流通可能となっており、掃気レシーバ内の新しい空気が、掃気口を通じてシリンダに流入するとともに、その勢いで燃焼後の気体を排気ダクトに排出する掃気動作が行われる。また、このような構成において過給器 2 4 0 を使用すると、掃気レシーバ内の掃気の圧力を高めることができる。

40

【 0 0 3 3 】

上記のように本実施の形態は、様々なタイプのエンジン 2 0 0 に対して適用することができるが、特に定格回転数が毎分 1 0 0 0 回転以下の船舶用のエンジンに対して使用するのが好適である。一般的に、船舶用のエンジンは車両用のエンジンと比較して上記のような低い定格回転数で駆動される。そして、特に大型の船舶においては、エンジンで発生された動力が船舶の実際の動きに反映されるまでに時間を要するため、正確なエンジン駆動が求められる。このように、船舶用のエンジンにおいては、エンジンの特性変化や状態を高

50

精度に推定して正確な駆動を行う要求が高く、本実施の形態のエンジン特性推定装置 100 を使用するのが好ましい。

【0034】

ここで、エンジン特性推定装置 100 によって推定を行うエンジン 200 の特性としては以下のものが例示される。

- ・ 燃焼効率：燃焼室 211 における燃焼の効率。熱効率とも呼ばれる。
- ・ 動力伝達効率：エンジン本体 210 で発生したトルクに対する、各機械部分での損失を差し引いた実効トルクの比。機械伝達効率とも呼ばれる。
- ・ 動特性：複数のパラメータ間の時間を考慮した関係。温度変化に対する圧力の応答性等

10

- ・ 過給器 240 の効率：コンプレッサ 241 の効率、タービン 242 の効率等。
 - ・ 外乱影響：エンジン 200 が吸入する外気の温度（大気温）、圧力（大気圧）、船舶用エンジンにあっては駆動対象であるプロペラから流入する波等による負荷等。
- なお、上記の外乱は、実際のエンジン 200 の動作に大きな影響を及ぼす重要なものであり、かつ図 4 に関して後述する数学モデルにおいては他の特性と同等に扱うことができる。

【0035】

以上で例を挙げて説明したエンジン 200 において、その特性推定や制御に使用する状態パラメータ X0 は例えば以下の各パラメータにより構成することができる。

【0036】

エンジン本体 210 の動作に関するパラメータ：

- ・ クランクシャフト 216 の回転数（エンジン本体 210 の回転数 N_e ）
- ・ 排気路 230 から排出される気体の温度（エンジン本体 210 の排気温 T_{ex} ）
- ・ 排気路 230 から排出される気体の圧力（エンジン本体 210 の排気圧 P_{ex} ）
- ・ 排気路 230 から排出される気体の流量（エンジン本体 210 の排気量 G_{ex} ）

20

【0037】

過給器 240 の動作に関するパラメータ：

- ・ コンプレッサ 241、タービン 242、軸 243 の回転数（過給器 240 の回転数 N_{tc} ）
- ・ 掃気動作を行わない図 2 の 4 ストロークエンジン等において過給器 240 を介して吸気路 220 から燃焼室 211 に供給される空気の温度（過給器 240 の給気温 T_b ）
- ・ 掃気動作を行わない図 2 の 4 ストロークエンジン等において過給器 240 を介して吸気路 220 から燃焼室 211 に供給される空気の圧力（過給器 240 の給気圧 P_b ）
- ・ 掃気動作を行わない図 2 の 4 ストロークエンジン等において過給器 240 を介して吸気路 220 から燃焼室 211 に供給される空気の流量（過給器 240 の給気量 G_b ）
- ・ 掃気動作を行う図 3 や特許文献 2 等の 2 ストロークエンジンにおいて、掃気路 219 から燃焼室 211 に供給される空気の圧力や掃気レシーバ内の空気の温度（過給器 240 の掃気温 T_s ）
- ・ 掃気動作を行う図 3 や特許文献 2 等の 2 ストロークエンジンにおいて、掃気路 219 から燃焼室 211 に供給される空気の圧力や掃気レシーバ内の空気の圧力（過給器 240 の掃気圧 P_s ）
- ・ 掃気動作を行う図 3 や特許文献 2 等の 2 ストロークエンジンにおいて、掃気路 219 から燃焼室 211 に供給される空気の圧力や掃気レシーバ内の空気の流量（過給器 240 の掃気量 G_s ）

30

40

【0038】

なお、過給器 240 が設けられない場合、燃焼室 211 への給気（4 ストロークエンジンの場合）および燃焼室 211 への掃気（2 ストロークエンジンの場合）は、エンジン本体 210 の動作となるため、上記の給気温 T_b 、給気圧 P_b 、給気量 G_b 、掃気温 T_s 、掃気圧 P_s 、掃気量 G_s は、それぞれエンジン本体 210 の動作に関するパラメータとなる。

50

【 0 0 3 9 】

上記の各パラメータは、いずれも適当なセンサを設けることにより測定可能であるが、実際のエンジン 2 0 0 ではコストや設置上の制約により全てのパラメータを測定するのは現実的ではなく、一部のパラメータ X_0 が測定され、オブザーバ 1 2 0 への入力とされる。測定するパラメータ X_0 の選択はエンジンシステムの制御目標や仕様に応じて適宜決定することができるが、例えば、以下のような基準で選択することが好ましい。

【 0 0 4 0 】

エンジン本体 2 1 0 の動作に関するパラメータ（エンジン本体データ）および過給器 2 4 0 の動作に関するパラメータ（過給器データ）からそれぞれ少なくとも一つのパラメータを測定する。エンジン本体データとしては、先に列挙した回転数 N_e 、排気温 T_{ex} 、排気圧 P_{ex} 、排気量 G_{ex} が例示される。過給器データとしては、先に列挙した回転数 N_{tc} 、給気温 T_b （4 ストロークエンジンの場合）、給気圧 P_b （同前）、給気量 G_b （同前）、掃気温 T_s （2 ストロークエンジンの場合）、掃気圧 P_s （同前）、掃気量 G_s （同前）が例示される。このように測定するパラメータを選択すれば、エンジン本体 2 1 0 と過給器 2 4 0 のそれぞれの測定データに基づき、エンジン 2 0 0 のシステム全体の状態をオブザーバ 1 2 0 で高精度に推定することができる。

【 0 0 4 1 】

他の基準として、エンジン 2 0 0 の機械的な動作に関するパラメータ（機械的データ）およびエンジン 2 0 0 の熱力学的状態に関するパラメータ（熱力学的データ）からそれぞれ少なくとも一つのパラメータを測定する。機械的データとしては、先に列挙したエンジン本体 2 1 0 の回転数 N_e 、過給器 2 4 0 の回転数 N_{tc} が例示される。熱力学的データとしては、先に列挙した、排気温 T_{ex} 、排気圧 P_{ex} 、排気量 G_{ex} 、給気温 T_b （4 ストロークエンジンの場合）、給気圧 P_b （同前）、給気量 G_b （同前）、掃気温 T_s （2 ストロークエンジンの場合）、掃気圧 P_s （同前）、掃気量 G_s （同前）が例示される。このように測定するパラメータを選択すれば、機械的データと熱力学的データのそれぞれの測定データに基づき、オブザーバ 1 2 0 はエンジン 2 0 0 の機械的側面と熱力学的側面を考慮して高精度に状態を推定することができる。

【 0 0 4 2 】

実際の設計においては、上記の二つの基準を同時に満たす測定パラメータを選択するのが最適である。例えば、エンジン本体 2 1 0 の回転数 N_e と、過給器 2 4 0 の掃気圧 P_s を測定パラメータとして選択するとよい。ここで、回転数 N_e はエンジン本体データかつ機械的データであり、掃気圧 P_s は過給器データかつ熱力学的データであり、上記の二つの基準を同時に満たしている。

【 0 0 4 3 】

なお、エンジン 2 0 0 への駆動入力である 1 燃焼当たりの燃料供給量 U は、エンジン本体 2 1 0 の回転数 N_e の測定データに基づいて設定される。すなわち、エンジン本体 2 1 0 の目標回転数を N_{e0} としたときに、測定値である N_e と目標値である N_{e0} の差分が演算され、その差分が少なくなるような 1 燃焼当たりの燃料供給量 U が所定のテーブルやアルゴリズムに基づいて設定される。

【 0 0 4 4 】

続いて、図 4 を参照して、シミュレータ 1 1 0 とオブザーバ 1 2 0 の構成を説明する。

【 0 0 4 5 】

シミュレータ 1 1 0 は、エンジン 2 0 0 に供給される 1 燃焼当たりの燃料供給量 U を入力として、第 1 計算モデルに基づき、 n 個の要素を持つベクトルとしての第 1 エンジン状態パラメータ $X_1 = (X_{11}, X_{12}, \dots, X_{1n})$ を計算する。ここで、第 1 エンジン状態パラメータ X_1 とエンジン 2 0 0 の状態パラメータ X_0 の要素数は等しく、 X_1 の各要素は X_0 の各要素の推定値となる。例えば、エンジン 2 0 0 の状態パラメータ X_0 の第 1 要素 X_{01} が回転数 N_e 、第 2 要素 X_{02} が掃気圧 P_s である場合、第 1 エンジン状態パラメータ X_1 の第 1 要素 X_{11} は回転数 N_e の推定値、第 2 要素 X_{12} は掃気圧 P_s の推定値となる。

10

20

30

40

50

【 0 0 4 6 】

シミュレータ 1 1 0 の第 1 計算モデルは、エンジン 2 0 0 の所定の基準時点のエンジンの特性を表しており、その基準時点のエンジン 2 0 0 の状態パラメータ X_0 をシミュレートするものである。ここで、第 1 計算モデルを設定するには、エンジン 2 0 0 への外乱がない理想的な状態を前提としているため、計算結果としての第 1 エンジン状態パラメータ X_1 は、基準時点におけるエンジン 2 0 0 の理想的な状態パラメータ X_0 を表す。第 1 計算モデルを規定する基準時点としては、典型的には、エンジン 2 0 0 の初期時点が選択される。この場合、第 1 エンジン状態パラメータ X_1 は、初期状態から特性劣化のない理想的なエンジン 2 0 0 が外乱のない状態に置かれた場合の理想的な状態パラメータ X_0 をシミュレートしたものとなる。

10

【 0 0 4 7 】

続いて、エンジン 2 0 0 の状態空間表現と、それに対応する状態空間表現を持つオブザーバ 1 2 0 について説明する。図 4 において、エンジン 2 0 0 はシステム係数行列 A によって定義される線形システムであるとする。具体的には、エンジン 2 0 0 の状態は以下の式により記述される。

【 0 0 4 8 】

$$d X_0 / d t = A \cdot X_0 + B \cdot U$$

$$X_0' = C \cdot X_0$$

ここで、各パラメータは以下を表す。

U : エンジン 2 0 0 への燃料供給量

X_0 : エンジン 2 0 0 の状態パラメータ

X_0' : オブザーバ 1 2 0 への入力 (上述の通り、状態パラメータ X_0 に含まれる一部の動作パラメータを測定したもの)

A : エンジン 2 0 0 のシステム係数行列

B : U をシステムに入力する入力ベクトル

C : X_0 から X_0' を抽出する出力ベクトル

なお、図示されているエンジン 2 0 0 の状態空間表現は上記の式を表したものである。

20

【 0 0 4 9 】

オブザーバ 1 2 0 は、上記のエンジン 2 0 0 と同様の状態空間表現を持つ。すなわち、オブザーバ 1 2 0 はエンジン 2 0 0 と同一のシステム係数行列 A 、入力ベクトル B 、出力ベクトル C を持つ。エンジン 2 0 0 との大きな違いは、エンジン 2 0 0 の動作データ X_0' がオブザーバゲイン H を介してオブザーバ 1 2 0 に入力される点である。このように、オブザーバ 1 2 0 は、システム係数行列 A およびオブザーバゲイン H によって定義される第 2 計算モデルを持ち、1 燃焼当たりの燃料供給量 U と動作データ X_0' を入力として、第 2 エンジン状態パラメータ X_2 を計算する。

30

【 0 0 5 0 】

第 2 エンジン状態パラメータ X_2 は n 個の要素 (X_{21} 、 X_{22} 、 \dots 、 X_{2n}) を持つベクトルである。上述した第 1 エンジン状態パラメータ X_1 と同様に、第 2 エンジン状態パラメータ X_2 とエンジン 2 0 0 の状態パラメータ X_0 の要素数は等しく、 X_2 の各要素は X_0 の各要素の推定値となる。例えば、エンジン 2 0 0 の状態パラメータ X_0 の第 1 要素 X_{01} が回転数 N_e 、第 2 要素 X_{02} が掃気圧 P_s である場合、第 2 エンジン状態パラメータ X_2 の第 1 要素 X_{21} は回転数 N_e の推定値、第 2 要素 X_{22} は掃気圧 P_s の推定値となる。

40

【 0 0 5 1 】

ある基準時点における理想的な状態パラメータ X_1 を計算するシミュレータ 1 1 0 と異なり、オブザーバ 1 2 0 はエンジン 2 0 0 のリアルタイムの状態パラメータ X_2 を計算する。なお、エンジン 2 0 0 の全ての状態パラメータ X_0 が測定される場合はオブザーバ 1 2 0 を設ける必要はないが、全パラメータを測定するのは現実的ではないため、オブザーバ 1 2 0 を用いて状態パラメータ X_2 の推定を行う。

50

【 0 0 5 2 】

なお、上記ではエンジン 2 0 0 が線形システムである場合を例にとって説明したが、非線形システムである場合も同様にオブザーバ 1 2 0 を構成することができる。すなわち、オブザーバ 1 2 0 は、エンジン 2 0 0 のシステム特性を表す要素（図 4 の例ではシステム係数行列）を第 2 計算モデル中に含んでいればよく、エンジン 2 0 0 が線形システムであるか非線形システムであるかは本実施の形態において本質的ではない。

【 0 0 5 3 】

図 5 は、エンジン特性推定部 1 3 0 の構成を示す模式図である。エンジン特性推定部 1 3 0 は、差分演算部 1 3 1 と、絶対値演算部 1 3 2 と、重み付け演算部 1 3 3 と、加算部 1 3 4 と、閾値比較部 1 3 5 とを備え、差分演算部 1 3 1 における差分演算結果をエンジン 2 0 0 の特性推定出力とするものである。 10

【 0 0 5 4 】

差分演算部 1 3 1 は、第 1 エンジン状態パラメータ X_1 と第 2 エンジン状態パラメータ X_2 の差分を演算する。具体的には、 X_1 および X_2 の要素数 n と等しい個数の差分器 1 3 1 - 1、1 3 1 - 2、...、1 3 1 - n を有する。各差分器は、 X_1 と X_2 の対応するパラメータの差分 e_1 、 e_2 、...、 e_n を演算する。上述の例のように、状態パラメータ X_0 の第 1 要素 X_{01} が回転数 N_e 、第 2 要素 X_{02} が掃気圧 P_s である場合、第 1 の差分器 1 3 1 - 1 は、それぞれ回転数 N_e の推定値である X_{11} と X_{21} の差分 e_1 を演算し、第 2 の差分器 1 3 1 - 2 は、それぞれ掃気圧 P_s の推定値である X_{12} と X_{22} の差分 e_2 を演算する。これらの差分演算結果 e_1 、 e_2 、...、 e_n は、エンジン 2 0 0 の特性推定出力として後段の計算モデル更新部 1 4 0 に供給される。 20

【 0 0 5 5 】

絶対値演算部 1 3 2、重み付け演算部 1 3 3、加算部 1 3 4、閾値比較部 1 3 5 は、その一連の演算結果に応じて、後段の計算モデル更新部 1 4 0 における計算モデル更新処理のトリガーをかけるものである。

絶対値演算部 1 3 2 は、差分演算部 1 3 1 からの差分 e_1 、 e_2 、...、 e_n のそれぞれの絶対値を演算する。

【 0 0 5 6 】

重み付け演算部 1 3 3 は、絶対値演算部 1 3 2 からの n 個の演算結果に対して、所定の重み w_1 、 w_2 、...、 w_n を乗算する。ここで、それぞれの重みは、本実施の形態におけるエンジン特性推定における各パラメータの重要度に応じて適宜設定されるものである。例えば、上述の例において、第 1 パラメータである回転数 N_e が第 2 パラメータである掃気圧 P_s よりもエンジン特性推定において重視される場合は、第 1 の重み w_1 を第 2 の重みよりも大きく設定するとよい。 30

【 0 0 5 7 】

加算部 1 3 4 は、重み付け演算部 1 3 3 からの n 個の演算結果を加算する。

閾値比較部 1 3 5 は、加算部 1 3 4 からの演算結果を所定の閾値と比較する。加算部 1 3 4 からの演算結果が閾値を超えた場合、後段の計算モデル更新部 1 4 0 における計算モデル更新処理のトリガー信号 T を生成する。

【 0 0 5 8 】

以上のように、差分演算部 1 3 1 からの差分 e_1 、 e_2 、...、 e_n に関して所定の基準が満たされた場合のみ計算モデル更新部 1 4 0 へのトリガー信号 T が生成されるので、計算モデル更新処理の頻度が高くなりすぎるのを防止し、システムの安定性を向上させることができる。なお、閾値比較部 1 3 5 は、加算部 1 3 4 からの演算結果が閾値を超える状態が所定時間継続した場合にトリガー信号 T を生成するように構成することもできる。この場合、瞬間的な異常値によってトリガー信号 T が生成されることがなくなるので、システムの安定性が更に向上する。 40

【 0 0 5 9 】

なお、上記の絶対値演算部 1 3 2、重み付け演算部 1 3 3、加算部 1 3 4、閾値比較部 1 3 5 という一連の構成は一例に過ぎず、差分演算部 1 3 1 の差分演算結果 e_1 、 e_2 、... 50

、 e_n に基づいて、計算モデル更新部 140 へのトリガー信号 T を生成するものであれば様々な構成を採用することができる。例えば、複数の差分演算結果のうち、ある一つの差分演算結果（例えば e_2 ）のみが重要な場合は、他の差分演算結果は考慮せずにその大きさだけに基づいてトリガー信号 T を生成してもよい。この場合、重み付け演算部 133 や加算部 134 を設ける必要がなくなる。

【0060】

図 1 に戻り、計算モデル更新部 140 は、エンジン特性推定部 130 からのトリガー信号 T を受け、エンジン特性推定部 130 からの特性推定出力 e_1 、 e_2 、...、 e_n を入力として、所定のアルゴリズムに基づきオブザーバ 120 の第 2 計算モデルを更新する。図 4 において説明したように、第 2 計算モデルはシステム係数行列 A とオブザーバゲイン H を含む計算モデルである。ここで、計算モデル更新部 140 は所定のアルゴリズムに基づき、システム係数行列 A およびオブザーバゲイン H の少なくとも一つを更新する。行列であるシステム係数行列 A とベクトルであるオブザーバゲイン H はそれぞれ複数の要素を持つので、その少なくとも一つの要素を更新すればよい。

10

【0061】

特にエンジン 200 の経年劣化や吸気温度等の外部環境の変化による特性変化に対応する場合は、システム係数行列 A を更新するのが好ましい。エンジン 200 の特性が変化している場合、すなわち上記で例示したような燃焼効率、動力伝達効率、動特性、過給器効率、外乱影響等が変化している場合は、図 4 におけるエンジン 200 のシステム係数行列 A が変化してしまっているので、その変化に合わせてオブザーバ 120 のシステム係数行列 A を更新すればよい。これにより、オブザーバ 120 の第 2 計算モデルがエンジン 200 の特性を反映するものとなるため、オブザーバ 120 によるエンジン 200 の状態推定精度を向上させることができる。

20

【0062】

なお、計算モデル更新部 140 による計算モデル更新処理に使用されるアルゴリズムは、オブザーバ 120 の第 2 計算モデルが実際のエンジン 200 の特性をよりよく反映することを目標として適宜設計することができる。単純な例としては、次のような試行錯誤型のアルゴリズムが挙げられる。このアルゴリズムでは、予め用意されている複数の更新処理のオプションを順次試し、特性推定出力 e_1 、 e_2 、...、 e_n が最も改善したオプションを採用する。また、アルゴリズムは予めプログラムされたものに限らず、実際の処理結果に応じた機械学習により更新可能なものとしてもよい。

30

【0063】

計算モデル更新モード実行部 150 は、計算モデル更新部 140 による第 2 計算モデルの更新を行うための更新モードを実行する。更新モードが実行されていない間は、エンジン特性推定部 130 からトリガー信号 T が生成されていても計算モデル更新部 140 は第 2 計算モデルの更新を行わない。一方、更新モードが実行されている間に、エンジン特性推定部 130 からトリガー信号 T が生成されると、計算モデル更新部 140 は特性推定出力 e_1 、 e_2 、...、 e_n に基づき第 2 計算モデルの更新を行う。なお、更新モードは、ユーザ操作に基づいて実行することもできるし、所定頻度で自動的に実行することもできる。このような専用の更新モードを設けることにより、計算モデル更新処理の頻度が高くなりすぎるのを防止し、システムの安定性を向上させることができる。一方で、このような専用の更新モードを設けず、任意の時点においてエンジン特性推定部 130 からのトリガー信号 T に基づいて第 2 計算モデルの更新処理が随時行われる構成とすることももちろん可能である。

40

【0064】

図 6 は、以上の構成を有するエンジン特性推定装置 100 によるエンジン特性推定の処理フローを示す。

ステップ S10 では、計算モデル更新モード実行部 150 によって更新モードが実行されているかどうか判定される。

更新モードが実行されている場合、ステップ S21 においてシミュレータ 110 が第 1 エ

50

ンジン状態パラメータ X_1 を計算し、それと並行するステップ S_{22} においてオブザーバ 120 が第 2 エンジン状態パラメータ X_2 を計算する。

【0065】

ステップ S_{30} では、エンジン特性推定部 130 が、第 1 エンジン状態パラメータ X_1 と第 2 エンジン状態パラメータ X_2 の各要素の差分 e_1 、 e_2 、...、 e_n (特性推定出力) を演算する。

ステップ S_{40} では、エンジン特性推定部 130 が、特性推定出力 e_1 、 e_2 、...、 e_n に基づき計算モデル更新部 140 に対するトリガー信号 T を生成したかが判定される。

トリガー信号 T が生成された場合、ステップ S_{50} において、計算モデル更新部 140 が、特性推定出力 e_1 、 e_2 、...、 e_n に基づきオブザーバ 120 の第 2 計算モデルの更新を行う。

【0066】

図 7 は、以上で説明したエンジン特性推定装置 100 によるエンジン特性推定の一例を示す模式図である。図 1 と同様に、エンジン 200 、シミュレータ 110 、オブザーバ 120 を、エンジン 200 の状態パラメータを出力とするブロックとして示している。また、以下の説明は、エンジン 200 への外乱の影響がない理想的な状態を前提にして行うが、本実施の形態は外乱がある場合にも同様に適用可能である。

【0067】

図 7 (A) は、エンジン 200 の初期状態を示す。

エンジン 200 は、その初期状態の特性を表すシステム係数行列 A_0 によって記述され、1 燃焼当たりの燃料供給量 U の入力に対して状態パラメータ X_0 を出力する。

シミュレータ 110 は、初期状態のエンジン 200 の特性を表す第 1 計算モデルに基づいて、1 燃焼当たりの燃料供給量 U の入力から第 1 エンジン状態パラメータを計算する。シミュレータ 110 は、初期状態のエンジン 200 を正確に再現するものであり、その出力である第 1 エンジン状態パラメータは、上記の初期状態におけるエンジン 200 の状態パラメータ X_0 と一致する。

【0068】

オブザーバ 120 は、初期状態のエンジン 200 と同一のシステム係数行列 A_0 を含む第 2 計算モデルに基づいて、1 燃焼当たりの燃料供給量 U および動作データ X_0 の入力から第 2 エンジン状態パラメータを計算する。ここで、オブザーバ 120 はシステム係数行列 A_0 に基づいてエンジン 200 の初期状態を推定するものであり、その推定精度を 100% と仮定すれば、第 2 エンジン状態パラメータは上記の初期状態におけるエンジン 200 の状態パラメータ X_0 と一致する。

したがって、図 7 (A) の初期状態においては、エンジン 200 、シミュレータ 110 、オブザーバ 120 の出力が一致している。そして、シミュレータ 110 およびオブザーバ 120 の出力の差分を演算する差分演算部 131 の出力はゼロとなる。

【0069】

図 7 (B) は、初期状態から時間が経過して、劣化によりエンジン 200 の特性が変化した状態を示す。

エンジン 200 のシステム係数行列は、エンジン 200 の劣化のため、初期状態の A_0 から A_1 に変化しているものとする。また、システム係数行列の変化によって、その状態パラメータも初期状態の X_0 から X に変化している。

シミュレータ 110 の第 1 計算モデルは初期状態から変わらない。また、シミュレータ 110 への入力である 1 燃焼当たりの燃料供給量 U はエンジン 200 の劣化とは無関係の駆動入力量であるため、シミュレータ 110 の出力である第 1 エンジン状態パラメータは、初期状態から変わらず X_0 で表される。

【0070】

オブザーバ 120 の第 2 計算モデルも初期状態から変わらず、エンジン 200 の初期状態のシステム係数行列 A_0 を含んでいる。一方、エンジン 200 からオブザーバ 120 に入

10

20

30

40

50

力される動作データ X' はエンジン 200 の劣化の影響を受けているため、初期状態におけるオブザーバ 120 への入力 X_0' から変化している。この結果、オブザーバ 120 の出力である第 2 エンジン状態パラメータは、初期状態の X_0 とは異なる X_2 に変化している。

【0071】

このように、図 7 (B) に示される劣化状態においては、第 1 エンジン状態パラメータ X_1 (X_0 に等しい) と第 2 エンジン状態パラメータ X_2 (X_0 と異なる) に乖離が生じ、差分演算部 131 の出力がゼロではなくなる ($X_2 - X_0$)。このように、本実施の形態のエンジン特性推定装置 100 によれば、この乖離に基づいてエンジン 200 の劣化、すなわちシステム係数行列の A_0 から A_1 への変化を推定することができる。

10

【0072】

図 7 (C) は、図 7 (B) で推定されたエンジン 200 の劣化を踏まえ、計算モデル更新部 140 がオブザーバ 120 の更新処理を行った状態を示す。計算モデル更新部 140 は、劣化状態で計算された上記の乖離データ $X_2 - X_0$ に基づいて、エンジン 200 の劣化後のシステム係数行列 A_1 を推定し、オブザーバ 120 の第 2 計算モデル中のシステム係数行列を A_0 から A_1 に更新する。これによってオブザーバ 120 のシステム係数行列が、劣化後のエンジン 200 の特性を反映したものとなり、オブザーバ 120 によるエンジン 200 の推定精度が向上する。ここで、推定精度が 100% であると仮定すると、オブザーバ 120 の出力はエンジン 200 の出力 X と完全に一致する。

【0073】

以上のように、本実施の形態のエンジン特性推定装置 100 によれば、エンジン 200 の劣化を推定し、それに基づきオブザーバ 120 の更新処理を行うことにより、エンジン 200 の状態推定精度を向上させることができる。

20

【0074】

なお、図 7 (C) の更新状態において、オブザーバ 120 の出力 X とシミュレータ 110 の出力 X_0 との間に定常的な乖離 $X - X_0$ が生じることになるが問題ない。更新状態後、乖離が $X - X_0$ に留まっていればエンジン 200 に更なる劣化が生じていないということが分かるので、計算モデル更新部 140 による更なる計算モデル更新を行う必要はなく、その状態で正常にシステムを運用することができる。一方、エンジン 200 に更なる劣化が生じ、乖離が $X - X_0$ から更に変化した場合は、計算モデル更新部 140 による更なる計算モデル更新を行うことで、オブザーバ 120 のシステム係数行列が最新のエンジン 200 の特性を反映したものとすることができる。

30

【0075】

なお、図 7 (A) においては、初期状態においてシミュレータ 110 とオブザーバ 120 の出力が一致する場合を例に挙げて説明したが、異なっても構わない。ここで、シミュレータ 110 の初期出力を X_0 、オブザーバ 120 の初期出力を X と置けば、初期状態の乖離は $X - X_0$ と表される。これは、図 7 (C) に関して説明した定常的な乖離 $X - X_0$ が存在する状況と実質的に同じである。

【0076】

また、上記のような定常的な乖離を見かけ上なくすために、シミュレータ 110 の第 1 計算モデルを更新することも可能である。すなわち、図 7 (A) の初期時点や、図 7 (C) の更新時点等の所定の基準時点において、シミュレータ 110 の第 1 エンジン状態パラメータ X_1 とオブザーバ 120 の第 2 エンジン状態パラメータ X_2 との間に定常的な乖離 $X_2 - X_1$ が存在する場合、シミュレータ 110 の第 1 計算モデルを更新することにより、シミュレータ 110 の出力を X_1 から X_2 に補正する。これにより、シミュレータ 110 およびオブザーバ 120 の出力がいずれも X_2 となるため、上記の定常的な乖離を見かけ上なくすことができる。

40

【0077】

このようにシミュレータ 110 の第 1 計算モデルの更新を行う場合であっても、初期状態に対応する第 1 計算モデルは保持し続けることが好ましい。初期状態はエンジン 200 の

50

特性推定や制御を行う上での絶対的な基準となる状態であるので、常に参照できるようにしておくといよい。例えば、図7(C)の更新状態において、シミュレータ110の第1計算モデルの更新を行う場合、初期状態に対応した第1計算モデルはそのまま保持し、更新状態に対応した新たな第1計算モデルを追加することができる。この場合、シミュレータ110は初期状態に対応した第1エンジン状態パラメータと、更新状態に対応した第1エンジン状態パラメータをそれぞれ計算する。そして、差分演算部131において、それぞれの第1エンジン状態パラメータと、第2エンジン状態パラメータの差分を演算することにより、エンジン200の初期状態からの劣化と、更新状態からの劣化をそれぞれ推定することができる。

【0078】

10

以上で説明した内容に加え、本実施の形態は例えば以下の作用や効果を奏する。

シミュレータ110の計算で使用される1燃焼当たりの燃料供給量 U は、経年劣化や吸気温度等の外部環境の変化によるエンジン200の特性変化の影響を受けないデータであるため、その計算結果である第1エンジン状態パラメータ X_1 はエンジン200の特性変化の影響を受けない。これに対して、オブザーバ120の計算で使用されるエンジン200の動作データは、エンジン200の特性変化の影響を受けるデータであるため、その計算結果である第2エンジン状態パラメータ X_2 はエンジン200の特性変化の影響を受ける。このようにエンジン特性変化の影響が異なる二種類のエンジン状態パラメータ X_1 、 X_2 の差分である特性推定出力を用いることにより、エンジン特性推定部130はエンジン200の特性変化(システム係数行列の A_0 から A_1 への変化)を高精度に推定することができる。なお、エンジン200の特性変化がない場合でも、計算モデルの異なる二つの計算部を併用することにより、エンジン200の状態を高精度に推定することができる。

20

【0079】

シミュレータ110の第1計算モデルおよびオブザーバ120の第2計算モデルとして、エンジン200の初期状態の特性を表すものを使用することにより、エンジン200の初期状態からの特性変化を効果的に推定することができる。

【0080】

エンジン特性推定部130で推定されたエンジン200の特性に基づきオブザーバ120の第2計算モデルを更新する計算モデル更新部140を設けることにより、エンジン200が劣化した場合であっても、オブザーバ120によるエンジン200の状態推定の精度を高く維持することができる。

30

【0081】

第1エンジン状態パラメータ X_1 および第2エンジン状態パラメータ X_2 を構成するパラメータの中には非線形性を示すものも存在するが、その差分を演算することにより非線形性を低減することができる場合がある。本実施の形態では、差分演算部131が、第1エンジン状態パラメータ X_1 と第2エンジン状態パラメータ X_2 の差分を演算することにより、非線形性を低減した扱いやすい形に変換してエンジン200の特性推定を行うことができる。

【0082】

以上、本発明を実施の形態に基づいて説明した。実施の形態は例示であり、それらの各構成要素や各処理プロセスの組合せにいろいろな変形例が可能なこと、またそうした変形例も本発明の範囲にあることは当業者に理解されるところである。

40

【0083】

実施の形態では、エンジン特性推定部130が、第1エンジン状態パラメータ X_1 と第2エンジン状態パラメータ X_2 の差分を演算する差分演算部131を備え、当該差分に基づいてエンジン200の特性を推定する構成としたが、それ以外の演算に基づいてエンジン200の特性を推定する構成としてもよい。例えば、シミュレータ110とオブザーバ120の入力データと計算モデルが違うことから、 X_1 と X_2 の単純な差分を用いたのでは推定精度を最大化できない可能性もある。その場合、両者の入力データと計算モデルの違いを踏まえてエンジン特性推定部130において特性推定の演算を行う関数を最適化する

50

ことができる。このような関数を一般化して $f(X_1, X_2)$ と置けば、エンジン特性推定部 130 は、 X_1 と X_2 を入力として特性推定出力 $f(X_1, X_2)$ を出力する演算部と捉えることができる。実施の形態で説明した差分演算の例においては、 $f(X_1, X_2) = X_2 - X_1$ である。

【0084】

実施の形態では、第1計算モデルにより第1エンジン状態パラメータ X_1 を計算する第1計算部としてのシミュレータ 110 と、第2計算モデルにより第2エンジン状態パラメータ X_2 を計算する第2計算部としてのオブザーバ 120 と、 X_1 および X_2 に基づいてエンジン 200 の特性を推定するエンジン特性推定部 130 とを備えるエンジン特性推定装置 100 について説明したが、エンジン特性推定部 130 を設けずに、シミュレータ 110 とオブザーバ 120 によってエンジン 200 の状態を推定するエンジン状態推定装置を構成することもできる。このエンジン状態推定装置によれば、計算モデルの異なる二つの計算部を併用することにより、エンジン 200 の状態を高精度に推定することができる。例えば、エンジン 200 の状態パラメータとして掃気圧を推定する場合、その推定値がシミュレータ 110 からの第1エンジン状態パラメータ X_1 およびオブザーバ 120 からの第2エンジン状態パラメータ X_2 の両者に含まれているので、その二つの推定値の平均値等を演算することにより掃気圧を高精度に推定することができる。一般化すれば、各計算モデルの違いを踏まえてエンジン 200 の状態推定用に最適化された関数 $g(X_1, X_2)$ を用意し、 X_1 と X_2 を入力として状態推定出力 $g(X_1, X_2)$ を出力する演算部としてのエンジン状態推定部を構成すればよい。上記の平均値を演算する例においては、 $g(X_1, X_2) = (X_1 + X_2) / 2$ である。また、エンジン状態推定部は X_1 と X_2 の瞬時データのみならず、過去の一定期間の X_1 と X_2 の履歴データも含めて $g(X_1, X_2)$ による演算を行う構成としてもよい。

【0085】

なお、実施の形態で説明した各装置の機能構成はハードウェア資源またはソフトウェア資源により、あるいはハードウェア資源とソフトウェア資源の協働により実現できる。ハードウェア資源としてプロセッサ、ROM、RAM、その他のLSIを利用できる。ソフトウェア資源としてオペレーティングシステム、アプリケーション等のプログラムを利用できる。

【0086】

本明細書で開示した実施の形態のうち、複数の機能が分散して設けられているものは、当該複数の機能の一部又は全部を集約して設けても良く、逆に複数の機能が集約して設けられているものを、当該複数の機能の一部又は全部が分散するように設けることができる。機能が集約されているか分散されているかにかかわらず、発明の目的を達成できるように構成されていればよい。

【符号の説明】

【0087】

100 ... エンジン特性推定装置、110 ... シミュレータ、120 ... オブザーバ、130 ... エンジン特性推定部、131 ... 差分演算部、140 ... 計算モデル更新部、150 ... 計算モデル更新モード実行部、200 ... エンジン、210 ... エンジン本体、220 ... 吸気路、230 ... 排気路、240 ... 過給器、 X_1 ... 第1エンジン状態パラメータ、 X_2 ... 第2エンジン状態パラメータ。

10

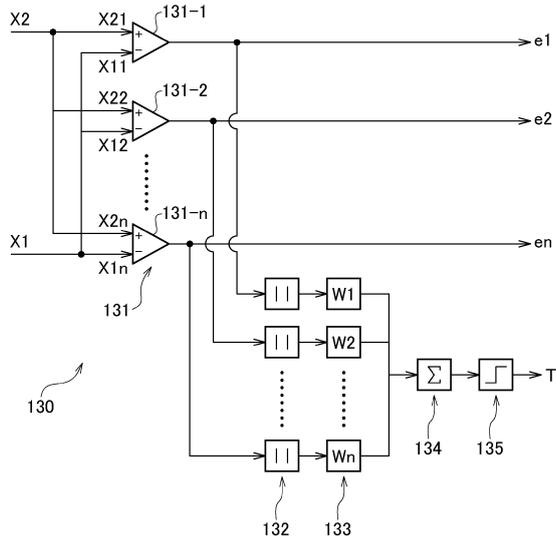
20

30

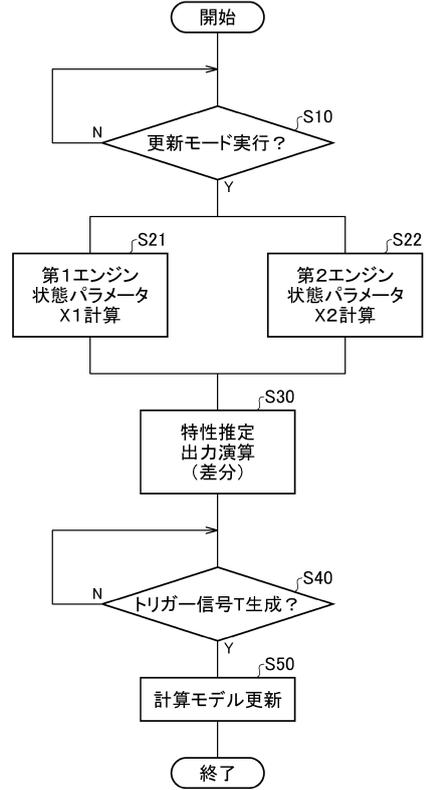
40

50

【 図 5 】



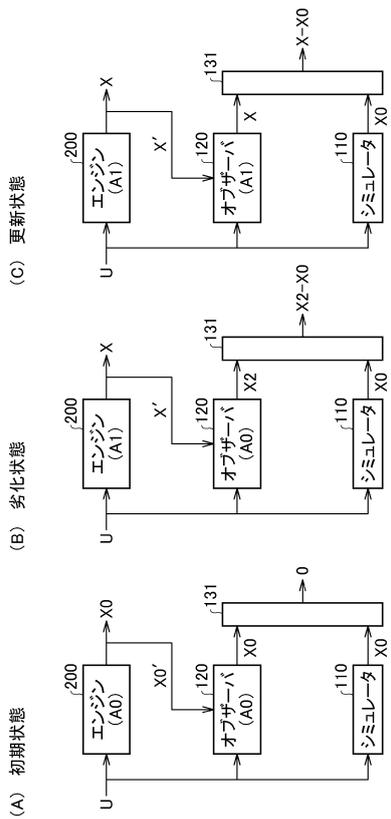
【 図 6 】



10

20

【 図 7 】



(C) 更新状態

(B) 劣化状態

(A) 初期状態

30

40

50

フロントページの続き

- (72)発明者 笹島 己喜朗
東京都千代田区平河町二丁目7番9号 ナブテスコ株式会社内
- (72)発明者 福島 圭一郎
東京都千代田区平河町二丁目7番9号 ナブテスコ株式会社内
- (72)発明者 ボンダレンコ オレクシー
東京都三鷹市新川6丁目38番1号 国立研究開発法人 海上・港湾・航空技術研究所内
- (72)発明者 北川 泰士
東京都三鷹市新川6丁目38番1号 国立研究開発法人 海上・港湾・航空技術研究所内
- Fターム(参考) 3G384 AA26 DA61 EA26 FA01Z FA08Z FA45Z FA47Z