

(19)日本国特許庁(JP)

(12)特許公報(B2)

(11)特許番号
特許第7250067号
(P7250067)

(45)発行日 令和5年3月31日(2023.3.31)

(24)登録日 令和5年3月23日(2023.3.23)

(51)国際特許分類 F I
F 0 2 D 45/00 (2006.01) F 0 2 D 45/00 3 6 2

請求項の数 4 (全21頁)

(21)出願番号	特願2021-96322(P2021-96322)	(73)特許権者	000006013 三菱電機株式会社 東京都千代田区丸の内二丁目7番3号
(22)出願日	令和3年6月9日(2021.6.9)	(74)代理人	110002941 弁理士法人ばるも特許事務所
(65)公開番号	特開2022-188353(P2022-188353 A)	(72)発明者	高橋 建彦 兵庫県神戸市中央区中町通二丁目1番1 8号 三菱電機コントロールソフトウェ ア株式会社内
(43)公開日	令和4年12月21日(2022.12.21)	(72)発明者	有田 圭一 東京都千代田区丸の内二丁目7番3号 三菱電機株式会社内
審査請求日	令和3年6月9日(2021.6.9)	(72)発明者	加古 一代 東京都千代田区丸の内二丁目7番3号 三菱電機株式会社内

最終頁に続く

(54)【発明の名称】 内燃機関の制御装置

(57)【特許請求の範囲】

【請求項1】

欠け歯区間を有し、予め定められた単位角度間隔で複数の歯を設け、クランク軸と一体回転する被検出部と、前記歯を検出するクランク角センサと、を備えた内燃機関を制御する内燃機関の制御装置であって、

前記クランク角センサの出力信号に基づいて、前記歯が通過する周期を検出し、前記欠け歯区間に対応する前記周期を判定し、通過した前記歯に対応するクランク角度を判定する角度情報検出部と、

前記欠け歯区間の前記周期、前記欠け歯区間前の前記周期、及び前記欠け歯区間後の前記周期に基づいて、前記欠け歯区間において前記単位角度間隔で歯が設けられていると仮定した場合の複数の仮想の前記単位角度間隔のそれぞれの周期を推定する欠け歯周期推定部と、

を備え、

前記欠け歯周期推定部は、前記欠け歯区間の前記周期を、欠け歯数に1を加算した値で除算して、前記欠け歯区間における複数の前記仮想の単位角度間隔の平均周期を算出し、前記平均周期を、前記欠け歯区間の中心角度に対応させ、

前記欠け歯区間前の前記周期から前記欠け歯区間の中心角度における前記平均周期を減算して前差分を算出し、前記欠け歯区間後の前記周期から前記欠け歯区間の中心角度における前記平均周期を減算して後差分を算出し、前記前差分と前記後差分との差分平均値を算出し、

前記欠け歯区間の中心角度よりも前の前記欠け歯区間について、

前記欠け歯区間の中心角度から、前記欠け歯区間の中心角度よりも前の前記欠け歯区間に存在する前記仮想の単位角度間隔の中心角度を減算した角度差を、前記欠け歯区間の中心角度から前記欠け歯区間前の前記周期の中心角度を減算した角度差で除算して角度比率を算出し、当該角度比率を前記差分平均値に乘算した値を、前記欠け歯区間の中心角度における前記平均周期から減算して、前記欠け歯区間の中心角度よりも前の前記欠け歯区間に存在する前記仮想の単位角度間隔の周期を推定し、

前記欠け歯区間の中心角度よりも後の前記欠け歯区間について、

前記欠け歯区間の中心角度から、前記欠け歯区間の中心角度よりも後の前記欠け歯区間に存在する前記仮想の単位角度間隔の中心角度を減算した角度差を、前記欠け歯区間の中心角度から前記欠け歯区間後の前記周期の中心角度を減算した角度差で除算して角度比率を算出し、当該角度比率を前記差分平均値に乘算した値を、前記欠け歯区間の中心角度における前記平均周期に加算して、前記欠け歯区間の中心角度よりも後の前記欠け歯区間に存在する前記仮想の単位角度間隔の周期を推定する内燃機関の制御装置。

10

【請求項 2】

欠け歯区間を有し、予め定められた単位角度間隔で複数の歯を設け、クランク軸と一体回転する被検出部と、前記歯を検出するクランク角センサと、を備えた内燃機関を制御する内燃機関の制御装置であって、

前記クランク角センサの出力信号に基づいて、前記歯が通過する周期を検出し、前記欠け歯区間に対応する前記周期を判定し、通過した前記歯に対応するクランク角度を判定する角度情報検出部と、

20

前記欠け歯区間の前記周期、前記欠け歯区間前の前記周期、及び前記欠け歯区間後の前記周期に基づいて、前記欠け歯区間において前記単位角度間隔で歯が設けられていると仮定した場合の複数の仮想の前記単位角度間隔のそれぞれの周期を推定する欠け歯周期推定部と、
を備え、

前記欠け歯周期推定部は、前記欠け歯区間の前記周期を、欠け歯数に 1 を加算した値で除算して、前記欠け歯区間における複数の前記仮想の単位角度間隔の平均周期を算出し、前記平均周期を、前記欠け歯区間の中心角度に対応させ、

前記欠け歯区間前の前記周期、及び前記欠け歯区間における複数の前記仮想の単位角度間隔の周期、及び前記欠け歯区間後の前記周期のそれぞれに、角度の増加順に、0 から一つずつ増加する周期番号を設定し、

30

前記周期番号を独立変数とし、各前記周期番号の前記単位角度間隔の周期を従属変数とする 2 次関数の各次数の項の係数を、前記欠け歯区間前の前記周期及び対応する前記周期番号、前記欠け歯区間の中心角度における前記平均周期及び対応する前記周期番号、並びに前記欠け歯区間後の前記周期及び対応する前記周期番号に基づいて算出し、

算出された各次数の項の係数を有する 2 次関数を用いて、前記欠け歯区間における複数の前記仮想の単位角度間隔のそれぞれの周期を推定する内燃機関の制御装置。

【請求項 3】

前記欠け歯区間以外で検出した前記単位角度間隔の周期、及び前記欠け歯区間で推定した前記仮想の単位角度間隔の周期に基づいて、内燃機関の燃焼状態を推定する燃焼状態推定部を備えた請求項 1 又は 2 に記載の内燃機関の制御装置。

40

【請求項 4】

前記燃焼状態推定部は、前記欠け歯区間以外で検出した前記単位角度間隔の周期、及び前記欠け歯区間で推定した前記仮想の単位角度間隔の周期に基づいて、クランク角加速度を算出し、前記クランク角加速度に基づいて、燃焼時の気筒内のガス圧により発生する燃焼時のガス圧トルクを算出し、前記燃焼時のガス圧トルクに基づいて内燃機関の燃焼状態を推定する請求項 3 に記載の内燃機関の制御装置。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

50

【 0 0 0 1 】

本願は、内燃機関の制御装置に関するものである。

【 背景技術 】

【 0 0 0 2 】

内燃機関の燃費性能、エミッション性能を向上させるために、内燃機関の燃焼状態を計測し、その計測結果をフィードバックさせて制御する方法が有効である。そのためには、内燃機関の燃焼状態を正確に計測することが重要である。内燃機関の燃焼状態は筒内圧を計測することにより、正確に計測できることが広く知られている。筒内圧の計測方法では筒内圧センサ信号から直接測定する方法の他に、クランク角度信号などの内燃機関における各機構の情報からガス圧トルクを推定する方法がある。

10

【 0 0 0 3 】

従来技術として、例えば特許文献 1 に、クランク角度センサの出力信号に基づいてクランク角度を検出する方法が開示されている。特許文献 1 の技術では、欠け歯区間前の過去 3 回分の周期に基づいて、欠け歯区間の周期を予測することで、欠け歯区間においても、クランク角度を検出している。

【 先行技術文献 】

【 特許文献 】

【 0 0 0 4 】

【 文献 】 特許第 6 2 3 7 3 0 3 号

【 発明の概要 】

20

【 発明が解決しようとする課題 】

【 0 0 0 5 】

しかしながら、特許文献 1 の技術では、欠け歯区間前の周期の変動のみが考慮されているため、欠け歯区間において周期が急に変動した場合、欠け歯区間における周期の推定精度が悪化してしまう。

【 0 0 0 6 】

そこで、本願は、欠け歯区間において周期が急に変動した場合でも、欠け歯区間における周期の推定精度を向上することができる内燃機関の制御装置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 】

30

【 0 0 0 7 】

本願に係る内燃機関の制御装置は、

欠け歯区間を有し、予め定められた単位角度間隔で複数の歯を設け、クランク軸と一体回転する被検出部と、前記歯を検出するクランク角センサと、を備えた内燃機関を制御する内燃機関の制御装置であって、

前記クランク角センサの出力信号に基づいて、前記歯が通過する周期を検出し、前記欠け歯区間に対応する前記周期を判定し、通過した前記歯に対応するクランク角度を判定する角度情報検出部と、

前記欠け歯区間の前記周期、前記欠け歯区間前の前記周期、及び前記欠け歯区間後の前記周期に基づいて、前記欠け歯区間において前記単位角度間隔で歯が設けられていると仮定した場合の複数の仮想の前記単位角度間隔のそれぞれの周期を推定する欠け歯周期推定部と、

40

を備え、

前記欠け歯周期推定部は、前記欠け歯区間の前記周期を、欠け歯数に 1 を加算した値で除算して、前記欠け歯区間における複数の前記仮想の単位角度間隔の平均周期を算出し、

前記平均周期を、前記欠け歯区間の中心角度に対応させ、

前記欠け歯区間前の前記周期から前記欠け歯区間の中心角度における前記平均周期を減算して前差分を算出し、前記欠け歯区間後の前記周期から前記欠け歯区間の中心角度における前記平均周期を減算して後差分を算出し、前記前差分と前記後差分との差分平均値を算出し、

50

前記欠け歯区間の中心角度よりも前の前記欠け歯区間について、

前記欠け歯区間の中心角度から、前記欠け歯区間の中心角度よりも前の前記欠け歯区間に存在する前記仮想の単位角度間隔の中心角度を減算した角度差を、前記欠け歯区間の中心角度から前記欠け歯区間前の前記周期の中心角度を減算した角度差で除算して角度比率を算出し、当該角度比率を前記差分平均値に乘算した値を、前記欠け歯区間の中心角度における前記平均周期から減算して、前記欠け歯区間の中心角度よりも前の前記欠け歯区間に存在する前記仮想の単位角度間隔の周期を推定し、

前記欠け歯区間の中心角度よりも後の前記欠け歯区間について、

前記欠け歯区間の中心角度から、前記欠け歯区間の中心角度よりも後の前記欠け歯区間に存在する前記仮想の単位角度間隔の中心角度を減算した角度差を、前記欠け歯区間の中心角度から前記欠け歯区間後の前記周期の中心角度を減算した角度差で除算して角度比率を算出し、当該角度比率を前記差分平均値に乘算した値を、前記欠け歯区間の中心角度における前記平均周期に加算して、前記欠け歯区間の中心角度よりも後の前記欠け歯区間に存在する前記仮想の単位角度間隔の周期を推定するものである。

【発明の効果】

【0008】

本願に係る内燃機関の制御装置によれば、欠け歯区間前の周期だけでなく、欠け歯区間後の周期も用いて欠け歯区間の仮想の単位角度間隔の周期を推定するので、欠け歯区間において急な周期変動があった場合も、精度よく推定することができる。

【図面の簡単な説明】

【0009】

【図1】実施の形態1に係る内燃機関および制御装置の概略構成図である。

【図2】実施の形態1に係る内燃機関および制御装置の概略構成図である。

【図3】実施の形態1に係る制御装置のブロック図である。

【図4】実施の形態1に係る制御装置のハードウェア構成図である。

【図5】実施の形態1に係る角度情報を説明するためのタイムチャートである。

【図6】実施の形態1に係る欠け歯区間の周期推定を説明する図である。

【図7】実施の形態1に係る欠け歯区間の周期推定を説明する図である。

【図8】実施の形態1に係る角速度及び角加速度の算出を説明するためのタイムチャートである。

【図9】実施の形態1に係る未燃焼時の筒内圧と燃焼時の筒内圧とを説明する図である。

【発明を実施するための形態】

【0010】

1. 実施の形態1

実施の形態1に係る内燃機関の制御装置50（以下、単に制御装置50と称す）について図面を参照して説明する。図1および図2は、本実施の形態に係る内燃機関1および制御装置50の概略構成図であり、図3は、本実施の形態に係る制御装置50のブロック図である。内燃機関1および制御装置50は、車両に搭載され、内燃機関1は、車両（車輪）の駆動力源となる。

【0011】

1-1. 内燃機関1の構成

まず、内燃機関1の構成について説明する。図1に示すように、内燃機関1は、空気と燃料の混合気を燃焼する気筒7を備えている。内燃機関1は、気筒7に空気を供給する吸気路23と、気筒7で燃焼した排気ガスを排出する排気路17とを備えている。内燃機関1は、ガソリンエンジンとされている。内燃機関1は、吸気路23を開閉するスロットルバルブ4を備えている。スロットルバルブ4は、制御装置50により制御される電気モータにより開閉駆動される電子制御式スロットルバルブとされている。スロットルバルブ4には、スロットルバルブ4の開度に応じた電気信号を出力するスロットル開度センサ19が設けられている。

【0012】

10

20

30

40

50

スロットルバルブ 4 の上流側の吸気路 2 3 には、吸気路 2 3 に吸入される吸入空気量に応じた電気信号を出力するエアフローセンサ 3 が設けられている。内燃機関 1 は、排気ガス還流装置 2 0 を備えている。排気ガス還流装置 2 0 は、排気路 1 7 から吸気マニホールド 1 2 に排気ガスを還流する EGR 流路 2 1 と、EGR 流路 2 1 を開閉する EGR バルブ 2 2 と、を有している。吸気マニホールド 1 2 は、スロットルバルブ 4 の下流側の吸気路 2 3 の部分である。EGR バルブ 2 2 は、制御装置 5 0 により制御される電気モータにより開閉駆動される電子制御式 EGR バルブとされている。排気路 1 7 には、排気路 1 7 内の排気ガスの空燃比に応じた電気信号を出力する空燃比センサ 1 8 を備えている。

【0013】

吸気マニホールド 1 2 には、吸気マニホールド 1 2 内の圧力に応じた電気信号を出力するマニホールド圧センサ 8 が設けられている。吸気マニホールド 1 2 の下流側の部分には、燃料を噴射するインジェクタ 1 3 が設けられている。なお、インジェクタ 1 3 は、気筒 7 内に直接燃料を噴射するように設けられてもよい。内燃機関 1 には、大気圧に応じた電気信号を出力する大気圧センサ 3 3 が設けられている。

10

【0014】

気筒 7 の頂部には、空気と燃料の混合気に点火する点火プラグと、点火プラグに点火エネルギーを供給する点火コイル 1 6 と、が設けられている。また、気筒 7 の頂部には、吸気路 2 3 から気筒 7 内に吸入される吸入空気量を調節する吸気バルブ 1 4 と、シリンダ内から排気路 1 7 に排出される排気ガス量を調節する排気バルブ 1 5 と、が設けられている。吸気バルブ 1 4 には、そのバルブ開閉タイミングを可変にする吸気可変バルブタイミング機構が設けられている。排気バルブ 1 5 には、そのバルブ開閉タイミングを可変にする排気可変バルブタイミング機構が設けられている。可変バルブタイミング機構 1 4、1 5 は、電動アクチュエータを有している。

20

【0015】

図 2 に示すように、内燃機関 1 は、複数の気筒 7 (本例では 3 つ) を備えている。各気筒 7 内には、ピストン 5 が備えられている。各気筒 7 のピストン 5 は、コンロッド 9 およびクランク 3 2 を介してクランク軸 2 に接続されている。クランク軸 2 は、ピストン 5 の往復運動によって回転駆動される。各気筒 7 で発生した燃焼ガス圧は、ピストン 5 の頂面を押圧し、コンロッド 9 およびクランク 3 2 を介してクランク軸 2 を回転駆動する。クランク軸 2 は、車輪に駆動力を伝達する動力伝達機構に連結されている。動力伝達機構は、変速装置、ディファレンシャルギヤ等から構成される。なお、内燃機関 1 を備えた車両は、動力伝達機構内にモータージェネレータを備えたハイブリッド車であってもよい。

30

【0016】

内燃機関 1 は、クランク軸 2 と一体回転する信号板 1 0 を備えている。信号板 1 0 は、欠け歯区間を有し、予め定められた単位角度間隔 $u t$ で複数の歯を設けている。信号板 1 0 が、本願に係る被検出部に相当する。本実施の形態では、単位角度間隔 $u t$ は、10 度に設定されている。欠け歯区間では、2 つの歯が欠けており、欠け歯区間は、30 度になる。なお、単位角度間隔 $u t$ は、任意の角度に設定されてもよく、欠け歯区間の欠け歯数 M は任意の数に設定されてもよく、欠け歯区間の数は、任意の数に設定されてもよい。内燃機関 1 は、エンジンプロック 2 4 に固定され、信号板 1 0 の歯を検出するクランク角センサ 1 1 を備えている。

40

【0017】

内燃機関 1 は、クランク軸 2 とチェーン 2 8 で連結されたカム軸 2 9 を備えている。カム軸 2 9 は、吸気バルブ 1 4 および排気バルブ 1 5 を開閉駆動する。クランク軸 2 が 2 回転する間に、カム軸 2 9 は 1 回転する。内燃機関 1 は、カム軸 2 9 と一体回転するカム用の信号板 3 1 を備えている。カム用の信号板 3 1 は、予め定められた複数のカム軸角度に複数の歯を設けている。内燃機関 1 は、エンジンプロック 2 4 に固定され、カム用の信号板 3 1 の歯を検出するカム角センサ 3 0 を備えている。

【0018】

制御装置 5 0 は、クランク角センサ 1 1 およびカム角センサ 3 0 の 2 種類の出力信号に

50

基づいて、各ピストン 5 の上死点を基準としたクランク角度を検出すると共に、各気筒 7 の行程を判別する。なお、内燃機関 1 は、吸気行程、圧縮行程、燃焼行程、および排気行程の 4 行程機関とされている。

【 0 0 1 9 】

クランク角センサ 1 1、及びカム角センサ 3 0 は、クランク軸 2 の回転による、各センサと歯の距離の変化に応じた電気信号を出力する。各角センサ 1 1、3 0 の出力信号は、センサと歯の距離が近い場合と、遠い場合とで信号がオンオフする矩形波となる。各角センサ 1 1、3 0 は、例えば、電磁ピックアップ式のセンサが用いられる。

【 0 0 2 0 】

1 - 2 . 制御装置 5 0 の構成

次に、制御装置 5 0 について説明する。

制御装置 5 0 は、内燃機関 1 を制御対象とする制御装置である。図 3 に示すように、制御装置 5 0 は、角度情報検出部 5 1、欠け歯周期推定部 5 2、燃焼状態推定部 5 3、及び燃焼制御部 5 4 等の処理部を備えている。制御装置 5 0 の各処理部 5 1 から 5 4 等は、制御装置 5 0 が備えた処理回路により実現される。具体的には、制御装置 5 0 は、図 4 に示すように、処理回路として、CPU (Central Processing Unit) 等の演算処理装置 9 0 (コンピュータ)、演算処理装置 9 0 にバス等の信号線を介して接続された記憶装置 9 1、演算処理装置 9 0 に外部の信号を入力する入力回路 9 2、および演算処理装置 9 0 から外部に信号を出力する出力回路 9 3 等を備えている。

【 0 0 2 1 】

演算処理装置 9 0 として、ASIC (Application Specific Integrated Circuit)、IC (Integrated Circuit)、DSP (Digital Signal Processor)、FPGA (Field Programmable Gate Array)、各種の論理回路、および各種の信号処理回路等が備えられてもよい。また、演算処理装置 9 0 として、同じ種類のもの又は異なる種類のものが複数備えられ、各処理が分担して実行されてもよい。

【 0 0 2 2 】

記憶装置 9 1 として、RAM (Random Access Memory)、ROM (Read Only Memory)、EEPROM (Electrically Erasable Programmable ROM) 等の揮発性及び不揮発性の記憶装置が備えられている。入力回路 9 2 は、各種のセンサ及びスイッチが接続され、これらセンサ及びスイッチの出力信号を演算処理装置 9 0 に入力する A/D 変換器等を備えている。出力回路 9 3 は、電気負荷が接続され、これら電気負荷に演算処理装置 9 0 から制御信号を出力する駆動回路等を備えている。

【 0 0 2 3 】

そして、制御装置 5 0 が備える各処理部 5 1 から 5 4 等の各機能は、演算処理装置 9 0 が、ROM、EEPROM 等の記憶装置 9 1 に記憶されたソフトウェア (プログラム) を実行し、記憶装置 9 1、入力回路 9 2、および出力回路 9 3 等の制御装置 5 0 の他のハードウェアと協働することにより実現される。なお、各処理部 5 1 から 5 4 等が用いる未燃焼時データ等の設定データは、ソフトウェア (プログラム) の一部として、ROM、EEPROM 等の記憶装置 9 1 に記憶されている。また、各処理部 5 1 から 5 4 等が算出したクランク角度 d 、周期 T 、仮想の単位角度間隔の周期 T_{ute} 、クランク角速度 d 、クランク角加速度 d 、実軸トルク T_{crk} 、燃焼によるガス圧トルクの増加分 T_{gas_brn} 、燃焼時の気筒内のガス圧 P_{cyl_brn} 等の各演算値および各検出値のデータは、RAM 等の記憶装置 9 1 に記憶される。

【 0 0 2 4 】

本実施の形態では、入力回路 9 2 には、クランク角センサ 1 1、カム角センサ 3 0、エアフローセンサ 3、スロットル開度センサ 1 9、マニホールド圧センサ 8、大気圧センサ 3 3、空燃比センサ 1 8、およびアクセルポジションセンサ 2 6 等が接続されている。出力回路 9 3 には、スロットルバルブ 4 (電気モータ)、EGR バルブ 2 2 (電気モータ)、インジェクタ 1 3、点火コイル 1 6、吸気可変バルブタイミング機構 1 4、及び排気可変バルブタイミング機構 1 5 等が接続されている。なお、制御装置 5 0 には、図示してい

10

20

30

40

50

ない各種のセンサ、スイッチ、およびアクチュエータ等が接続されている。制御装置 50 は、各種センサの出力信号に基づいて、吸入空気量、吸気マニホールド内の圧力、大気圧、空燃比、およびアクセル開度等の内燃機関 1 の運転状態を検出する。

【0025】

制御装置 50 は、基本的な制御として、入力された各種センサの出力信号等に基づいて、燃料噴射量、点火時期等を算出し、インジェクタ 13 および点火コイル 16 等を駆動制御する。制御装置 50 は、アクセルポジションセンサ 26 の出力信号等に基づいて、運転者が要求している内燃機関 1 の出力トルクを算出し、当該要求出力トルクを実現する吸入空気量となるように、スロットルバルブ 4 等を制御する。具体的には、制御装置 50 は、目標スロットル開度を算出し、スロットル開度センサ 19 の出力信号に基づき検出したスロットル開度が、目標スロットル開度に近づくように、スロットルバルブ 4 の電気モータを駆動制御する。また、制御装置 50 は、入力された各種センサの出力信号等に基づいて、EGR バルブ 22 の目標開度を算出し、EGR バルブ 22 の電気モータを駆動制御する。制御装置 50 は、入力された各種センサの出力信号等に基づいて、吸気バルブの目標開閉タイミング及び排気バルブの目標開閉タイミングを算出し、各目標開閉タイミングに基づいて、吸気及び排気可変バルブタイミング機構 14、15 を駆動制御する。

10

【0026】

1-2-1. 角度情報検出部 51

角度情報検出部 51 は、クランク角センサ 11 の出力信号に基づいて、歯が通過する周期 T を検出し、欠け歯区間に対応する周期 T を判定し、通過した歯に対応するクランク角度 d を判定する。

20

【0027】

本実施の形態では、図 5 に示すように、角度情報検出部 51 は、クランク角センサ 11 の出力信号（矩形波）の立下りエッジ（又は立上りエッジ）を検出したときに、歯が通過したと判定する。そして、角度情報検出部 51 は、前回歯の通過（立下りエッジ）を検出した時点から、今回歯の通過（立下りエッジ）を検出した時点までの時間間隔を、今回の周期 T として検出する。

【0028】

角度情報検出部 51 は、検出した 1 回転分の周期 T の内、他の周期 T よりも所定割合以上長くなっている周期 T を、欠け歯区間に対応する周期 T と判定する。欠け歯区間に対応するクランク角度は、予め設定されているので、角度情報検出部 51 は、欠け歯区間のクランク角度を基準に、立下りエッジを検出した各時点のクランク角度 d を判定する。

30

【0029】

また、角度情報検出部 51 は、カム角センサ 30 の出力信号に基づいて、各クランク角度に対応する各気筒 7 の行程を判定する。

【0030】

角度情報検出部 51 は、検出した周期 T 及びクランク角度 d 等の角度情報を、角度識別番号 n と対応づけて記憶期間分、RAM 等の記憶装置 91 に記憶する。例えば、角度情報検出部 51 は、上死点後の最初の立下りエッジの検出時点の角度識別番号 n を 1 に設定し、その後、立下りエッジを検出するごとに、欠け歯区間以外では、角度識別番号 n を 1 つずつ増加させ、欠け歯区間では、角度識別番号 n を、欠け歯数 M （本例では 2）に 1 を加算した値だけ増加させる。角度識別番号 n は、最大番号（本例では 36）の後、1 に戻る。

40

【0031】

1-2-2. 欠け歯周期推定部 52

欠け歯周期推定部 52 は、欠け歯区間の周期 T 、欠け歯区間前の周期 T_{bf} 、及び欠け歯区間後の周期 T_{af} に基づいて、欠け歯区間において単位角度間隔 u で歯が設けられていると仮定した場合の仮定の単位角度間隔の周期 T_{ute} を推定する。

【0032】

50

この構成によれば、欠け歯区間前の周期 T_{bf} だけでなく、欠け歯区間後の周期 T_{af} も用いて欠け歯区間の仮想の単位角度間隔の周期 T_{ute} を推定するので、欠け歯区間において周期変動があった場合でも、精度よく推定することができる。

【0033】

本実施の形態では、次式及び図6に示すように、欠け歯周期推定部52は、欠け歯区間の周期 T を、欠け歯数 M に1を加算した値（本例では3）で除算して、欠け歯区間における仮想の単位角度間隔の平均周期 T_{utave} を算出する。この仮想の単位角度間隔の平均周期 T_{utave} を、欠け歯区間の中心角度 cnt に対応させる。そして、欠け歯周期推定部52は、欠け歯区間前の周期 T_{bf} 、欠け歯区間の中心角度 cnt における仮想の単位角度間隔の平均周期 T_{utave} 、及び欠け歯区間後の周期 T_{af} を通る近似線により、欠け歯区間における仮想の単位角度間隔の周期 T_{ute} を推定する。

10

【数1】

数1

$$\Delta T_{utave} = \Delta T / (M + 1) \quad \dots (1)$$

【0034】

欠け歯区間前の周期 T_{bf} は、欠け歯区間の直前に検出された周期であり、欠け歯区間の直前の2つの立下りエッジの間の角度間隔の時間間隔に対応する。欠け歯区間後の周期 T_{af} は、欠け歯区間の直後に検出された周期であり、欠け歯区間の直後の2つの立下りエッジの間の角度間隔の時間間隔に対応する。

20

【0035】

この構成によれば、欠け歯区間における仮想の単位角度間隔の平均周期 T_{utave} を、欠け歯区間の中心角度 cnt に対応させ、欠け歯区間の前、中心、及び後の3点の単位角度間隔の周期 T_{bf} 、 T_{utave} 、 T_{af} を通る近似線により、欠け歯区間における複数の単位角度間隔の周期 T_{ute} を精度よく推定することができる。

【0036】

<差分平均値を用いた推定>

本実施の形態では、次式に示すように、欠け歯周期推定部52は、欠け歯区間の中心角度 cnt における仮想の単位角度間隔の平均周期 T_{utave} から、欠け歯区間前の周期 T_{bf} を減算して、前差分 T_{diffbf} を算出し、欠け歯区間後の周期 T_{af} から、欠け歯区間の中心角度における仮想の単位角度間隔の平均周期 T_{utave} を減算して、後差分 T_{diffaf} を算出し、前差分 T_{diffbf} と後差分 T_{diffaf} との差分平均値 $T_{diffave}$ を算出する。

30

【数2】

数2

$$\begin{aligned} \Delta T_{diffbf} &= \Delta T_{utave} - \Delta T_{bf} \\ \Delta T_{diffaf} &= \Delta T_{af} - \Delta T_{utave} \quad \dots (2) \\ \Delta T_{diffave} &= (\Delta T_{diffbf} + \Delta T_{diffaf}) / 2 \end{aligned}$$

40

【0037】

そして、欠け歯区間の中心角度 cnt よりも前の欠け歯区間について、次式及び図6に示すように、欠け歯周期推定部52は、欠け歯区間の中心角度 cnt から、周期を推定する仮想の単位角度間隔の中心角度 ute を減算した角度差 ute を、欠け歯区間の中心角度 cnt から欠け歯区間前の周期の中心角度 bf を減算した角度差 bf で除算して角度比率 R_{ute} を算出し、当該角度比率 R_{ute} を差分平均値 $T_{diffave}$ に乗算した値を、欠け歯区間の中心角度における仮想の単位角度間隔の平均周期 T_{utave} から減算して、仮想の単位角度間隔の周期 T_{ute} を推定する。欠け歯数 M が1以上であり、欠け歯区間の中心角度よりも前の欠け歯区間に、単数又は複数の仮想の単位角度間隔が設定される場合は、各仮想の単位角度間隔について周期が推定さ

50

れる。

【数 3】

数 3

欠け歯区間の中心角度 θ_{cnt} よりも前の欠け歯区間について、

$$\Delta\theta_{ute} = \theta_{cnt} - \theta_{ute}$$

$$\Delta\theta_{bf} = \theta_{cnt} - \theta_{bf} \quad \dots (3)$$

$$R\theta_{ute} = \Delta\theta_{ute} / \Delta\theta_{bf}$$

$$\Delta T_{ute} = \Delta T_{utave} - \Delta T_{diffave} \times R\theta_{ute}$$

10

【0038】

また、欠け歯区間の中心角度 θ_{cnt} よりも後の欠け歯区間について、次式及び図 6 に示すように、欠け歯周期推定部 52 は、欠け歯区間の中心角度 θ_{cnt} から、周期を推定する仮想の単位角度間隔の中心角度 θ_{ute} を減算した角度差 $\Delta\theta_{ute}$ を、欠け歯区間の中心角度 θ_{cnt} から欠け歯区間後の周期の中心角度 θ_{af} を減算した角度差 $\Delta\theta_{af}$ で除算して角度比率 $R\theta_{ute}$ を算出し、当該角度比率 $R\theta_{ute}$ を差分平均値 $\Delta T_{diffave}$ に乗算した値を、欠け歯区間の中心角度における仮想の単位角度間隔の平均周期 T_{utave} に加算して、仮想の単位角度間隔の周期 T_{ute} を推定する。欠け歯数 M が 1 以上であり、欠け歯区間の中心角度よりも後の欠け歯区間に、単数又は複数の仮想の単位角度間隔が設定される場合は、各仮想の単位角度間隔について周期が推定される。

20

【数 4】

数 4

中心角度 θ_{cnt} よりも後の欠け歯区間について、

$$\Delta\theta_{ute} = \theta_{cnt} - \theta_{ute}$$

$$\Delta\theta_{af} = \theta_{cnt} - \theta_{af} \quad \dots (4)$$

$$R\theta_{ute} = \Delta\theta_{ute} / \Delta\theta_{af}$$

$$\Delta T_{ute} = \Delta T_{utave} + \Delta T_{diffave} \times R\theta_{ute}$$

【0039】

ここで、各周期の中心角度は、各周期に対応する単位角度間隔の中心クランク角度である。仮想の単位角度間隔の周期 T_{ute} の推定処理は、欠け歯区間後の周期 T_{af} が検出された後に実行される。各仮想の単位角度間隔の周期 T_{ute} は、対応する仮想の単位角度間隔の終端のクランク角度 θ_d 及び角度識別番号 n に関連付けて RAM 等の記憶装置 91 に記憶される。

30

【0040】

図 6 の例のように欠け歯数 M が偶数の場合は、欠け歯区間に設定される仮想の単位角度間隔の数は、 $M + 1$ の奇数になる。よって、欠け歯区間の中心角度 θ_{cnt} は、欠け歯区間の中心の仮想の単位角度間隔の中心角度になり、中心の仮想の単位角度間隔の周期 T_{ute} は、中心角度における単位角度間隔の平均周期 T_{utave} に設定される。一方、欠け歯数 M が奇数の場合は、欠け歯区間に設定される仮想の単位角度間隔の数は、 $M + 1$ の偶数になる。よって、欠け歯区間の中心角度 θ_{cnt} は、いずれの仮想の単位角度間隔の中心角度にも対応せず、式 (3) 又は式 (4) を用いて、全ての仮想の単位角度間隔の周期が推定される。

40

【0041】

上記の構成によれば、欠け歯区間の中心角度における単位角度間隔の平均周期 T_{utave} に対して、差分平均値 $\Delta T_{diffave}$ を、欠け歯区間の中心角度に対する角度比率に応じて加算又は減算を行うことより、各仮想の単位角度間隔の周期 T_{ute} を精度よく推定することができる。

【0042】

50

< 2 次関数を用いた推定 >

或いは、以下で説明するように、2 次関数を用いて、仮想の単位角度間隔の周期 Tut e を推定するように構成されてもよい。欠け歯周期推定部 5 2 は、欠け歯区間前の周期 T b f、及び欠け歯区間における単数又は複数の仮想の単位角度間隔の周期 Tut e、及び欠け歯区間後の周期 T a f のそれぞれに、角度の増加順に、一つずつ増加又は減少する周期番号 i を設定する。

【 0 0 4 3 】

本実施の形態では、周期番号 i は、角度の増加順に、0 から一つずつ増加するように設定される。図 7 に示すように、欠け歯周期推定部 5 2 は、欠け歯区間前の周期 T b f に対応する周期番号 i を 0 に設定し、1 番目の仮想の単位角度間隔の周期 Tut e に対応する周期番号 i を 1 に設定し、2 番目の仮想の単位角度間隔の周期 Tut e に対応する周期番号 i を 2 に設定し、3 番目の仮想の単位角度間隔の周期 Tut e に対応する周期番号 i を 3 に設定し、欠け歯区間後の周期 T a f に対応する周期番号 i を 4 に設定する。なお、周期番号 i は、角度の増加順に、任意の数から一つずつ増加又は減少するように設定されてもよい。

10

【 0 0 4 4 】

欠け歯周期推定部 5 2 は、次式に示すように、周期番号 i を独立変数とし、各周期番号 i の単位角度間隔の周期 Tut を従属変数とする 2 次関数を設定する。ここで、a は、2 次の項の係数であり、b は、1 次の項の係数であり、c は、0 次の項の係数である。

【 0 0 4 5 】

20

【数 5】

数 5

$$\Delta Tut(i) = a \times i^2 + b \times i + c \quad \dots (5)$$

【 0 0 4 6 】

欠け歯周期推定部 5 2 は、2 次関数の各次数の項の係数 a、b、c を、欠け歯区間前の周期 T b f 及び対応する周期番号 i = 0、欠け歯区間の中心角度における仮想の単位角度間隔の平均周期 Tut a v e 及び対応する周期番号 i = 2、並びに欠け歯区間後の周期 T a f 及び対応する周期番号 i = 4 に基づいて算出する。

【 0 0 4 7 】

30

欠け歯周期推定部 5 2 は、次式に示すように、この 3 つのサンプルを式 (5) に代入した 3 つの連立方程式を解くことにより、各次数の項の係数 a、b、c を算出する。

【数 6】

数 6

$$\begin{aligned} \Delta Tbf &= a \times 0^2 + b \times 0 + c \\ \Delta Tutave &= a \times 2^2 + b \times 2 + c \quad \dots (6) \\ \Delta Taf &= a \times 4^2 + b \times 4 + c \end{aligned}$$

$$\begin{bmatrix} a \\ b \\ c \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0^2 & 0 & 1 \\ 2^2 & 2 & 1 \\ 4^2 & 4 & 1 \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} \Delta Tbf \\ \Delta Tutave \\ \Delta Taf \end{bmatrix}$$

40

【 0 0 4 8 】

そして、欠け歯周期推定部 5 2 は、算出された各次数の項の係数 a、b、c を有する 2 次関数を用いて、欠け歯区間における単数又は複数の仮想の単位角度間隔の周期 Tut e を推定する。本実施の形態では、欠け歯周期推定部 5 2 は、2 次関数の周期番号 i に 1 を代入し、1 番目の仮想の単位角度間隔の周期 Tut e を算出し、2 次関数の周期番号 i に 2 を代入し、2 番目の仮想の単位角度間隔の周期 Tut e を算出し、2 次関数の周期番号 i に 3 を代入し、3 番目の仮想の単位角度間隔の周期 Tut e を算出する。なお、本例では、2 番目の仮想の単位角度間隔の周期 Tut e は、欠け歯区間の中心角度における仮想の単位角度間隔の平均周期 Tut a v e に一致するので、2 次関数を用いて

50

算出する代わりに、欠け歯区間の中心角度における仮想の単位角度間隔の平均周期 T_{utave} が用いられてもよい。

【0049】

図7の例のように欠け歯数 M が偶数の場合は、欠け歯区間に設定される仮想の単位角度間隔の数は、 $M + 1$ の奇数になる。よって、欠け歯区間の中心角度における仮想の単位角度間隔の平均周期 T_{utave} に対応する周期番号 i は、中心の周期番号 i になる。一方、欠け歯数 M が奇数の場合は、欠け歯区間に設定される仮想の単位角度間隔の数は、 $M + 1$ の偶数になる。よって、欠け歯区間の中心角度における仮想の単位角度間隔の平均周期 T_{utave} に対応する周期番号 i は、欠け歯区間における中心の2つの周期番号 i の中間の数になる。例えば、欠け歯数 M が3の場合は、欠け歯区間の中心角度における仮想の単位角度間隔の平均周期 T_{utave} に対応する周期番号 i は、欠け歯区間における中心の2つの周期番号 $i = 2$ 、 $i = 3$ の中間の数 2.5 になり、中間の数 $i = 2.5$ が、式(6)に代入されればよい。

10

【0050】

以上のように、周期番号 i を用いた2次関数により、欠け歯区間前の周期 T_{bf} 、欠け歯区間の中心角度 cnt における仮想の単位角度間隔の平均周期 T_{utave} 、及び欠け歯区間後の周期 T_{af} を通る近似曲線を算出し、各仮想の単位角度間隔の周期 T_{ute} を精度よく推定することができる。

【0051】

或いは、欠け歯周期推定部52は、欠け歯区間前の周期 T_{bf} と欠け歯区間後の周期 T_{af} との間を、欠け歯区間に対する各仮想の単位角度間隔の角度の角度比率に応じて、線形補間を行って各仮想の単位角度間隔の周期 T_{ute} を推定してもよい。

20

【0052】

1-2-3. 燃焼状態推定部53

燃焼状態推定部53は、欠け歯区間以外で検出した単位角度間隔の周期 T 、及び欠け歯区間で推定した仮想の単位角度間隔の周期 T_{ute} に基づいて、内燃機関の燃焼状態を推定する。

【0053】

以下では、欠け歯区間以外で検出した単位角度間隔の周期 T 、及び欠け歯区間で推定した仮想の単位角度間隔の周期 T_{ute} を特に区別せずに、単に、単位角度間隔の周期 T_{ut} と称す。

30

【0054】

燃焼状態推定部53は、角度情報算出部531、ガス圧トルク算出部532、筒内圧演算部533、燃焼パラメータ演算部534、及び未燃焼時軸トルク学習部535を備えている。

【0055】

1-2-3-1. 角度情報算出部531

角度情報算出部531は、単位角度間隔の周期 T_{ut} に対して、高周波数の成分及び特定の周波数の成分の一方又は双方を低減するフィルタ処理を行ってもよい。

【0056】

角度情報算出部531は、単位角度間隔の周期 T_{ut} に基づいて、クランク角度 d の時間変化率であるクランク角速度 \dot{d} 、及びクランク角速度 \dot{d} の時間変化率であるクランク角加速度 \ddot{d} を算出する。

40

【0057】

本実施の形態では、図8に示すように、角度情報算出部531は、処理対象とする単位角度間隔 $ut(n)$ 及び単位角度間隔の周期 $T_{ut}(n)$ に基づいて、処理対象の単位角度間隔 $ut(n)$ に対応するクランク角速度 $\dot{d}(n)$ を算出する。具体的には、角度情報算出部531は、次式に示すように、処理対象の単位角度間隔 $ut(n)$ を単位角度間隔の周期 $T_{ut}(n)$ で除算して、クランク角速度 $\dot{d}(n)$ を算出する。なお、単位角度間隔 ut は、同じ角度(本例では10度)に設定されている。

50

【数 7】

数 7

$$\omega d(n) = \frac{\Delta\theta_{ut}(n)}{\Delta T_{ut}(n)} \times \frac{\pi}{180} \quad \dots (7)$$

【0058】

角度情報算出部 531 は、次式に示すように、処理対象とする検出角度 $d(n)$ の直前 1 つの単位角度間隔 $ut(n)$ に対応するクランク角速度 $d(n)$ および単位角度間隔の周期 $T_{ut}(n)$ 、並びに処理対象の検出角度 $d(n)$ の直後 1 つの単位角度間隔 $ut(n+1)$ に対応するクランク角速度 $d(n+1)$ および単位角度間隔の周期 $T_{ut}(n+1)$ に基づいて、処理対象の検出角度 $d(n)$ に対応するクランク角加速度 $d(n)$ を算出する。

10

【数 8】

数 8

$$\alpha d(n) = \frac{\omega d(n+1) - \omega d(n)}{\Delta T_{ut}(n+1) + \Delta T_{ut}(n)} \times 2 \quad \dots (8)$$

【0059】

クランク角速度 $d(n)$ 、クランク角加速度 $d(n)$ は、対応する角度識別番号 n 及びクランク角度 d に関連付けて、RAM 等の記憶装置 91 に記憶される。

20

【0060】

1-2-3-2 . ガス圧トルク算出部 532

ガス圧トルク算出部 532 は、演算対象の各クランク角度 d において、クランク角加速度 d に基づいて、気筒内のガス圧によりクランク軸にかかるガス圧トルクを算出する。

【0061】

本実施の形態では、ガス圧トルク算出部 532 は、ガス圧トルクの内、燃焼によるガス圧トルクの増加分 T_{gas_brn} を算出する。以下で、燃焼によるガス圧トルクの増加分 T_{gas_brn} の算出について、詳細に説明する。

【0062】

< 実軸トルク T_{crkd} の算出 >

ガス圧トルク算出部 532 は、演算対象の各クランク角度 d において、クランク角加速度 d に基づいて、クランク軸にかかる実軸トルク T_{crkd} を算出する。

30

【0063】

本実施の形態では、ガス圧トルク算出部 532 は、次式に示すように、各クランク角度 d において、クランク角加速度 d に、クランク軸系の慣性モーメント I_{crk} を乗算して、実軸トルク T_{crkd} を算出する。

【数 9】

数 9

$$T_{crkd} = \alpha d \times I_{crk} \quad \dots (9)$$

40

【0064】

クランク軸系の慣性モーメント I_{crk} は、クランク軸 2 と一体回転する部材全体（例えば、クランク軸 2、クランク 32、及びフライホイール 27 等）の慣性モーメントであり、予め設定されている。

【0065】

< 未燃焼時の軸トルクの算出 >

ガス圧トルク算出部 532 は、クランク角度 d と未燃焼時の軸トルク T_{crk_mot} との関係が設定された未燃焼時データを参照し、演算対象の各クランク角度 d に対応する未燃焼時の軸トルク T_{crk_mot} を算出する。

【0066】

50

未燃焼時データは、実験データに基づいて、予め設定され、ROM、EEPROM等の記憶装置91に記憶されている。本実施の形態では、未燃焼時データには、後述する未燃焼時軸トルク学習部535により未燃焼時の実軸トルク T_{crkd} に基づいて更新されたものが用いられる。

【0067】

未燃焼時データは、少なくとも気筒内のガス圧及びピストンの往復慣性トルクに影響する運転状態（例えば、回転速度、気筒内の吸入気体量等）ごとに設定されている。ガス圧トルク算出部532は、現在の運転状態に対応する未燃焼時データを参照し、各クランク角度 d に対応する未燃焼時の軸トルク T_{crk_mot} を算出する。

【0068】

<外部負荷トルクの算出>

ガス圧トルク算出部532は、上死点近傍のクランク角度 d_tdc において、クランク角加速度 d に基づいて実軸トルク T_{crkd_tdc} を算出する。ガス圧トルク算出部532は、未燃焼時データを参照し、上死点近傍のクランク角度 d_tdc に対応する未燃焼時の軸トルク $T_{crk_mot_tdc}$ を算出する。ここで、上死点近傍は、例えば、上死点前10度から上死点後10度までの単位角度間隔内である。例えば、上死点近傍のクランク角度 d_tdc は、上死点のクランク角度に予め設定されている。

【0069】

ガス圧トルク算出部532は、上死点近傍のクランク角度 d_tdc における実軸トルク T_{crkd_tdc} 及び未燃焼時の軸トルク $T_{crk_mot_tdc}$ に基づいて、内燃機関の外部からクランク軸にかかるトルクである外部負荷トルク T_{load} を算出する。本実施の形態では、ガス圧トルク算出部532は、次式に示すように、上死点近傍の未燃焼時の軸トルク $T_{crk_mot_tdc}$ から、上死点近傍の実軸トルク T_{crkd_tdc} を減算して、燃焼時の外部負荷トルク T_{load} を算出する。

【数10】

数10

$$T_{load} = T_{crk_mot_tdc} - T_{crkd_tdc} \quad \dots (10)$$

【0070】

<燃焼によるガス圧トルクの増加分の算出>

図9に示すように、燃焼時の気筒内のガス圧は、未燃焼時の気筒内のガス圧よりも、燃焼による圧力上昇分だけ上昇する。燃焼時の実軸トルク T_{crkd} は、この燃焼の圧力上昇による軸トルクの増加分 T_{gas_brn} だけ、未燃焼時の軸トルク T_{crk_mot} から増加する。この軸トルクの増加分 T_{gas_brn} は、未燃焼時の気筒内のガス圧から燃焼時の気筒内のガス圧まで上昇したガス圧上昇により生じた、ガス圧トルクの増加分であるため、燃焼によるガス圧トルクの増加分 T_{gas_brn} と称す。

【0071】

ガス圧トルク算出部532は、演算対象の各クランク角度 d において、実軸トルク T_{crkd} 、未燃焼時の軸トルク T_{crk_mot} 、及び外部負荷トルク T_{load} に基づいて、燃焼によるガス圧トルクの増加分 T_{gas_brn} を算出する。本実施の形態では、ガス圧トルク算出部532は、次式に示すように、実軸トルク T_{crkd} から、未燃焼時の軸トルク T_{crk_mot} を減算し、外部負荷トルク T_{load} を加算して、燃焼によるガス圧トルクの増加分 T_{gas_brn} を算出する。

【数11】

数11

$$\Delta T_{gas_brn} = T_{crkd} - T_{crk_mot} + T_{load} \quad \dots (11)$$

【0072】

実軸トルク T_{crkd} 、未燃焼時の軸トルク T_{crk_mot} 、燃焼によるガス圧トルクの増加分 T_{gas_brn} は、対応する角度識別番号 n 及びクランク角度 d に関連

10

20

30

40

50

付けて、RAM等の記憶装置91に記憶される。

【0073】

1-2-3-3. 筒内圧演算部533

筒内圧演算部533は、燃焼によるガス圧トルクに基づいて内燃機関の燃焼状態を推定する。本実施の形態では、筒内圧演算部533は、燃焼によるガス圧トルクの増加分 T_{gas_brn} に基づいて内燃機関の燃焼状態を推定する。

【0074】

< 未燃焼時の気筒内のガス圧の算出 >

筒内圧演算部533は、演算対象の各クランク角度 d において、現在の筒内吸入気体量の状態（本例では、現在の吸気管内のガス圧 P_{in} ）に基づいて、未燃焼であると仮定した場合の未燃焼時の気筒内のガス圧 P_{cyl_mot} を算出する。

【0075】

本実施の形態では、筒内圧演算部533は、ポリトロップ変化を表す次式を用いて、未燃焼時の気筒内のガス圧 P_{cyl_mot} を算出する。

【数12】

数12

$$P_{cyl_mot} = \left(\frac{V_{cyl0}}{V_{cyl_t}} \right)^{N_{ply}} \times P_{in} \quad \dots (12)$$

$$V_{cyl_t} = V_{cyl0} - S_p \times r \left\{ (1 + \cos(\theta d)) - \frac{r}{L} (1 + \cos(2 \times \theta d)) \right\}$$

10

20

【0076】

ここで、 N_{ply} は、ポリトロップ指数であり、予め設定された値が用いられる。 V_{cyl0} は、吸気弁の閉弁時の燃焼気筒のシリンダ容積である。 S_p は、ピストンの頂面の投影面積であり、 r は、クランク長さであり、 L は、コンロッド長さである。なお、三角関数の演算に用いられるクランク角度 d には、燃焼気筒の圧縮行程の上死点を0度に設定した角度が用いられる。

【0077】

< 燃焼時の気筒内のガス圧の算出 >

そして、筒内圧演算部533は、演算対象の各クランク角度 d において、未燃焼時の気筒内のガス圧 P_{cyl_mot} と、燃焼によるガス圧トルクの増加分 T_{gas_brn} とに基づいて、燃焼時の気筒内のガス圧 P_{cyl_brn} を算出する。

【0078】

本実施の形態では、筒内圧演算部533は、演算対象の各クランク角度 d において、燃焼によるガス圧トルクの増加分 T_{gas_brn} に基づいて、燃焼による気筒内のガス圧の増加分 P_{cyl_brn} を算出する。例えば、筒内圧演算部533は、次式を用いて、燃焼による気筒内のガス圧の増加分 P_{cyl_brn} を算出する。

【数13】

数13

$$\Delta P_{cyl_brn} = \frac{\Delta T_{gas_brn}}{S_p \times R_{brn}}$$

$$R_{brn} = r \left\{ \sin(\theta d) - \frac{1}{2} \frac{r}{L} \cos(2 \times \theta d) \right\} \quad \dots (13)$$

30

40

【0079】

そして、筒内圧演算部533は、次式に示すように、演算対象の各クランク角度 d において、未燃焼時の気筒内のガス圧 P_{cyl_mot} と燃焼による気筒内のガス圧の増加分 P_{cyl_brn} とを加算して、燃焼時の気筒内のガス圧 P_{cyl_brn} を算出する。

【数14】

50

数 1 4

$$P_{cyl_brn} = P_{cyl_mot} + \Delta P_{cyl_brn} \quad \dots (14)$$

【 0 0 8 0 】

燃焼時の気筒内のガス圧 P_{cyl_brn} は、対応する角度識別番号 n 及びクランク角度 d に関連付けて、RAM等の記憶装置 9 1 に記憶される。

【 0 0 8 1 】

1 - 2 - 3 - 4 . 燃焼パラメータ演算部 5 3 4

燃焼パラメータ演算部 5 3 4 は、演算対象の各クランク角度 d の燃焼時の気筒内のガス圧 P_{cyl_brn} に基づいて、燃焼状態を表す燃焼パラメータを算出する。例えば、燃焼パラメータとして、熱発生率、質量燃焼割合 MFB、及び図示平均有効圧力 IMEP の少なくとも 1 つ以上が算出される。なお、他の種類の燃焼パラメータが算出されてもよい。

10

【 0 0 8 2 】

本実施の形態では、燃焼パラメータ演算部 5 3 4 は、次式を用い、演算対象の各クランク角度 d において、単位クランク角度当たりの熱発生率 dQ/d を算出する。

【数 1 5】

数 1 5

$$\frac{d(Q)}{d(\theta d)} = \frac{\kappa}{\kappa - 1} P_{cyl_brn} \frac{d(V_{cyl_}\theta)}{d(\theta d)} + \frac{1}{\kappa - 1} V_{cyl_}\theta \frac{d(P_{cyl_brn})}{d(\theta d)} \quad \dots (15)$$

20

【 0 0 8 3 】

ここで、 κ は、比熱比であり、 $V_{cyl_}$ は、各クランク角度 d における燃焼気筒のシリンダ容積であり、式 (1 2) の第 2 式を用いて説明したように算出される。燃焼パラメータ演算部 5 3 4 は、演算対象の各クランク角度 d において、熱発生率 dQ/d を算出する演算処理を行う。算出された各クランク角度の熱発生率 dQ/d は、他の演算値と同様に、RAM等の記憶装置 9 1 に記憶される。

【 0 0 8 4 】

燃焼パラメータ演算部 5 3 4 は、次式を用い、熱発生率 dQ/d を、演算対象の開始角度 θ_0 から演算対象の各クランク角度 d まで積分した区間積分値を、推定クランク角度間隔 int 全体に亘って熱発生率 dQ/d を積分した全積分値 Q_0 で除算して、演算対象の各クランク角度 d の質量燃焼割合 MFB を算出する。燃焼パラメータ演算部 5 3 4 は、演算対象の各クランク角度 d において、質量燃焼割合 MFB を算出する演算処理を行う。算出された各クランク角度 d の質量燃焼割合 MFB は、他の演算値と同様に、RAM等の記憶装置 9 1 に記憶される。

30

【数 1 6】

数 1 6

$$MFB = \frac{\int_{\theta_0}^{\theta_{d_obj}} \frac{d(Q)}{d(\theta d)} d(\theta d)}{Q_0} \quad \dots (16)$$

40

【 0 0 8 5 】

燃焼パラメータ演算部 5 3 4 は、各燃焼気筒について、次式を用い、燃焼時の気筒内のガス圧 P_{cyl_brn} を、燃焼気筒のシリンダ容積 $V_{cyl_}$ について積分し、図示平均有効圧力 IMEP を算出する。

【数 1 7】

数 1 7

$$IMEP = \frac{1}{V_{cyl_all}} \int_{V_{cyl_s}}^{V_{cyl_e}} P_{cyl_brn} d(V_{cyl_}\theta) \quad \dots (17)$$

50

【 0 0 8 6 】

ここで、 $V_{cyl\ a\ l\ l}$ は、行程容積であり、 $V_{cyl\ s}$ は、積分開始のシリンダ容積であり、 $V_{cyl\ e}$ は、積分終了のシリンダ容積である。積分を行う容積区間は、少なくとも推定クランク角度間隔 $i\ n\ t$ に対応する容積区間に設定されてもよいし、4行程に対応する容積区間に設定されてよい。 $V_{cyl\ _}$ は、式(12)の第2式に示すように、クランク角度 d に基づいて算出される。燃焼パラメータ演算部534は、演算対象の各クランク角度 d において、燃焼時の気筒内のガス圧 $P_{cyl\ _}\ b\ r\ n$ の積分処理を行う。

【 0 0 8 7 】

1 - 2 - 3 - 5 . 未燃焼時軸トルク学習部535

10

未燃焼時軸トルク学習部535は、内燃機関の未燃焼状態において、各クランク角度 d において、クランク角加速度 d に基づいて、燃焼時と同様に、実軸トルク $T_{crl\ d}$ を算出し、算出した未燃焼時の実軸トルク $T_{crl\ d}$ により、未燃焼時データを更新する。

【 0 0 8 8 】

例えば、未燃焼時データを更新する未燃焼状態は、燃料カットが実施されている状態、又は未燃焼状態で内燃機関の外部からの駆動力(例えば、電動機の駆動力、車輪から伝達される駆動力)によって内燃機関が駆動されている状態である。

【 0 0 8 9 】

本実施の形態では、未燃焼時軸トルク学習部535は、記憶装置91に記憶されている未燃焼時データを参照し、更新対象のクランク角度 d に対応する未燃焼時の軸トルク T_{crl} を読み出し、読み出した未燃焼時の軸トルク T_{crl} が、更新対象のクランク角度 d で演算された未燃焼時の実軸トルク $T_{crl\ d}$ に近づくように、記憶装置91に記憶されている未燃焼時データに設定されている更新対象のクランク角度 d の未燃焼時の軸トルク T_{crl} を変化させる。

20

【 0 0 9 0 】

1 - 2 - 4 . 燃焼制御部54

燃焼制御部54は、推定された燃焼状態(本例では、燃焼パラメータ)に基づいて、少なくとも点火時期及びEGR量的一方又は双方を変化させる燃焼制御を行う。本実施の形態では、燃焼制御部54は、捩れ振動が発生していないと判定された場合、及び許容捩れ振動が発生したと判定された場合は、燃焼状態に基づいて燃焼制御を行い、捩れ振動が発生したと判定された場合は、燃焼状態が推定されていないので、燃焼状態に基づく燃焼制御を停止する。

30

【 0 0 9 1 】

本実施の形態では、燃焼制御部54は、質量燃焼割合 $M\ F\ B$ が0.5(50%)になるクランク角度 d (燃焼中心角度と称す)を判定し、燃焼中心角度が予め設定された目標角度に近づくように、少なくとも点火時期及びEGR量的一方又は双方を変化させる。例えば、燃焼制御部54は、燃焼中心角度が目標角度よりも遅角側である場合は、点火時期を進角側に変化させる、又はEGRバルブ22の開度を減少させてEGR量を減少させる。なお、EGR量を減少させれば、燃焼速度が急速になり、燃焼中心角度が進角側に変化する。一方、燃焼制御部54は、燃焼中心角度が目標角度よりも進角側である場合は、点火時期を遅角側に変化させる、又はEGRバルブ22の開度を増加させてEGR量を増加させる。

40

【 0 0 9 2 】

或いは、燃焼制御部54は、熱発生率 $d\ Q / d\ d$ が最大値になるクランク角度 d を判定し、当該クランク角度 d が予め設定された目標角度に近づくように、少なくとも点火時期及びEGR量的一方又は双方を変化させるように構成されてもよい。

【 0 0 9 3 】

或いは、燃焼制御部54は、図示平均有効圧力 $I\ M\ E\ P$ が、運転状態毎に設定された目標値に近づくように、少なくとも点火時期及びEGR量的一方又は双方を変化させるように構成されてもよい。

50

【 0 0 9 4 】

燃焼状態に係る他の制御パラメータ（例えば、吸気バルブの開閉タイミング、排気バルブの開閉タイミング）が変化されてもよい

【 0 0 9 5 】

本願は、例示的な実施の形態が記載されているが、実施の形態に記載された様々な特徴、態様、及び機能は特定の実施の形態の適用に限られるのではなく、単独で、または様々な組み合わせで実施の形態に適用可能である。従って、例示されていない無数の変形例が、本願明細書に開示される技術の範囲内において想定される。例えば、少なくとも1つの構成要素を变形する場合、追加する場合または省略する場合が含まれるものとする。

【 符号の説明 】

【 0 0 9 6 】

1 内燃機関、2 クランク軸、10 信号板（被検出部）、11 クランク角センサ、50 内燃機関の制御装置、51 角度情報検出部、52 欠け歯周期推定部、53 燃焼状態推定部、54 燃焼制御部、 $u t$ 単位角度間隔、 T 周期、 $T a f$ 欠け歯区間後の周期、 $T b f$ 欠け歯区間前の周期、 T 欠け歯区間の周期、 $T d i f f a f$ 後差分、 $T d i f f b f$ 前差分、 $T d i f f a v e$ 差分平均値、 $T u t a v e$ 平均周期、 $T u t e$ 仮想の単位角度間隔の周期、 $T u t$ 単位角度間隔の周期、 d クランク角加速度、 d クランク角度、 $c n t$ 欠け歯区間の中心角度、 d クランク角速度、 i 周期番号

10

20

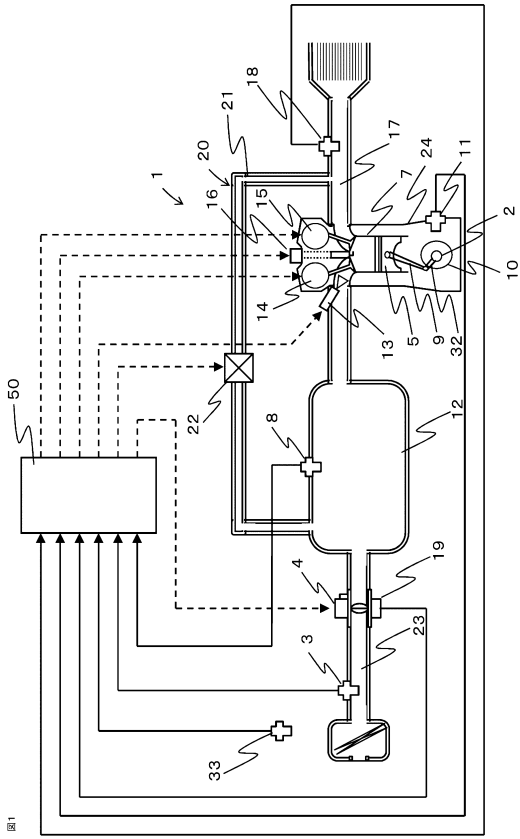
30

40

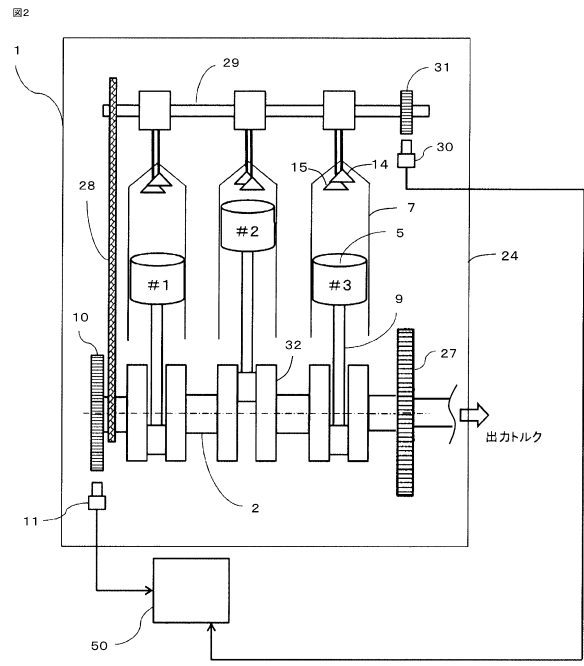
50

【図面】

【図 1】



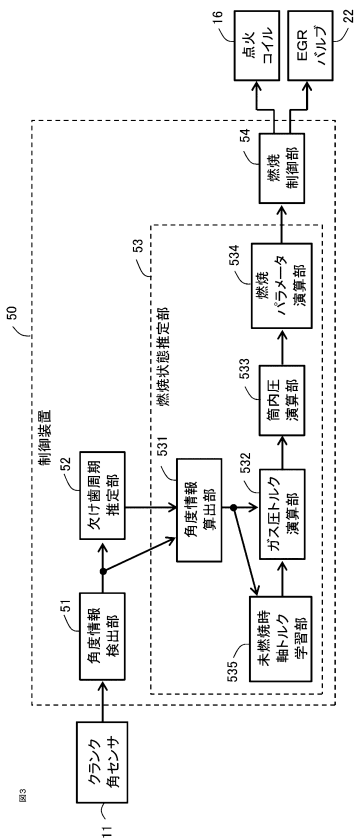
【図 2】



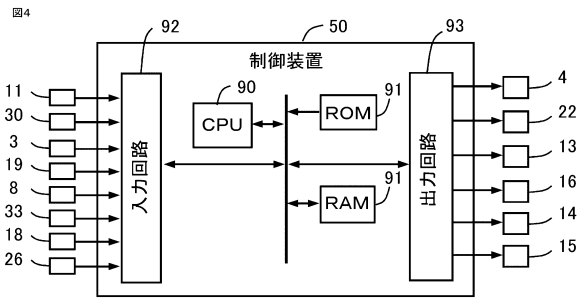
10

20

【図 3】



【図 4】

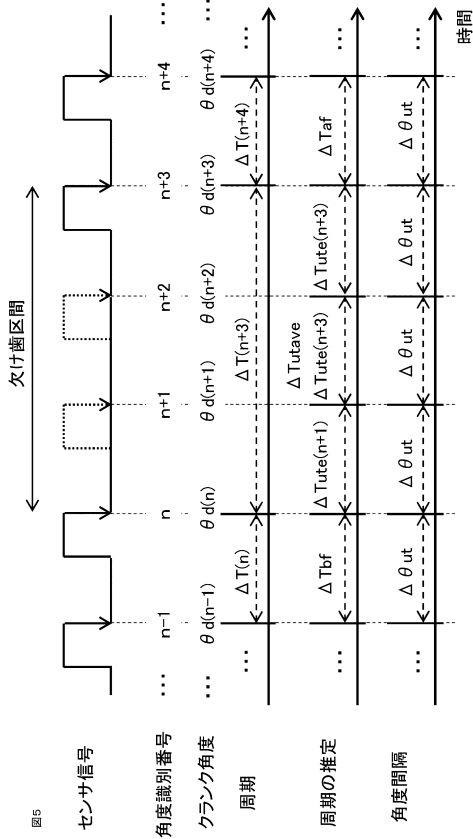


30

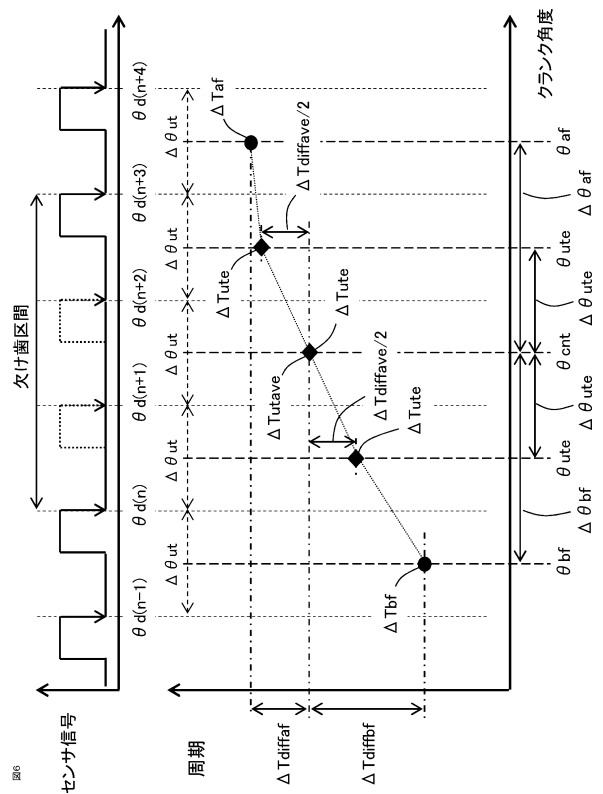
40

50

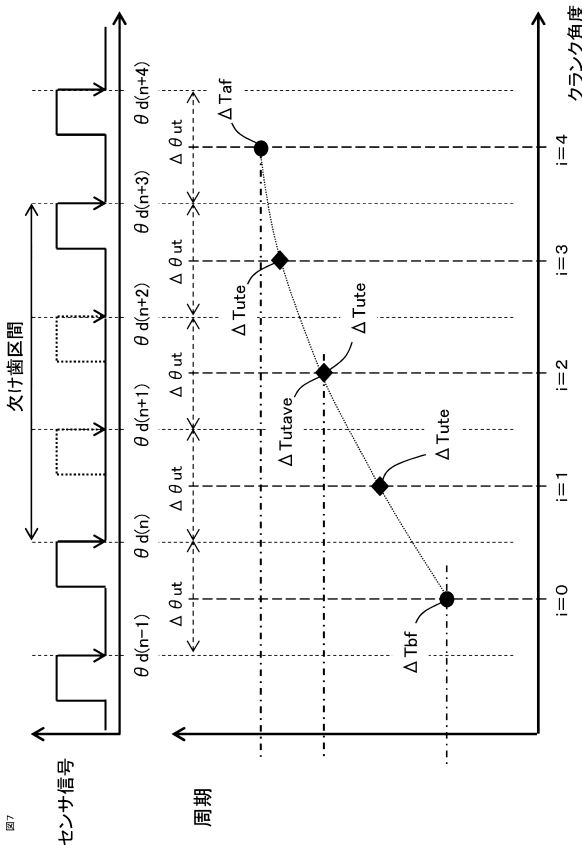
【図 5】



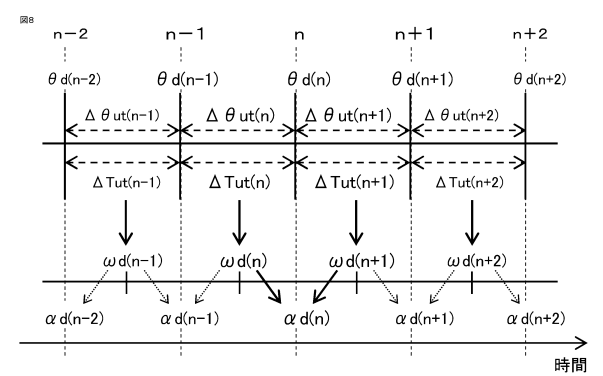
【図 6】



【図 7】



【図 8】



10

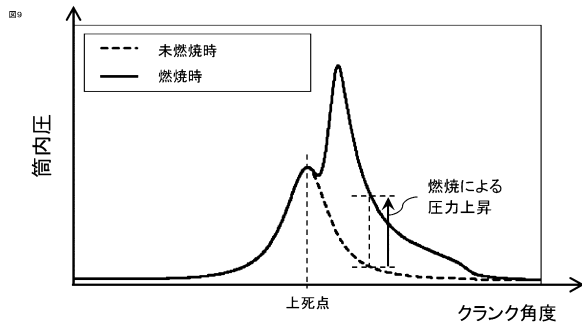
20

30

40

50

【図 9】



10

20

30

40

50

フロントページの続き

(72)発明者 松嶋 裕平

東京都千代田区丸の内二丁目7番3号 三菱電機株式会社内

審査官 家喜 健太

(56)参考文献 特開平11-132088(JP,A)

米国特許出願公開第2005/0212508(US,A1)

米国特許第06560528(US,B1)

特開2011-256806(JP,A)

米国特許第05717133(US,A)

特開2009-275618(JP,A)

(58)調査した分野 (Int.Cl., DB名)

F02D 45/00

G01M 13/00 , 15/00

G01P 3/00