

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公開特許公報(A)

(11) 特許出願公開番号

特開2014-105608

(P2014-105608A)

(43) 公開日 平成26年6月9日(2014.6.9)

(51) Int.Cl.	F I	テーマコード (参考)
FO2M 25/07 (2006.01)	FO2M 25/07 550L	3G062
	FO2M 25/07 550E	
	FO2M 25/07 550R	
	FO2M 25/07 580E	

審査請求 未請求 請求項の数 4 O L (全 14 頁)

(21) 出願番号 特願2012-258026 (P2012-258026)
 (22) 出願日 平成24年11月26日 (2012.11.26)

(71) 出願人 000003207
 トヨタ自動車株式会社
 愛知県豊田市トヨタ町1番地
 (74) 代理人 100100549
 弁理士 川口 嘉之
 (74) 代理人 100085006
 弁理士 世良 和信
 (74) 代理人 100113608
 弁理士 平川 明
 (74) 代理人 100123319
 弁理士 関根 武彦
 (74) 代理人 100123098
 弁理士 今堀 克彦
 (74) 代理人 100143797
 弁理士 宮下 文徳

最終頁に続く

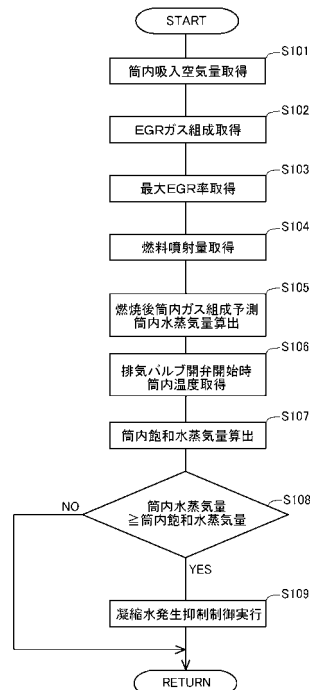
(54) 【発明の名称】 内燃機関の制御装置

(57) 【要約】

【課題】 排気の一部を吸気通路へ還流させるEGR通路を有する多筒式の内燃機関において、気筒内における凝縮水の発生を精度良く抑制する。

【解決手段】 EGRガス内の水蒸気比率と各気筒に流入する吸気のEGR率に基づいて算出された何れかの気筒内の水蒸気量が、当該気筒内の温度に基づいて算出された飽和水蒸気量以上の場合に、各気筒内における凝縮水の発生を抑制する制御を実行する。

【選択図】 図4



【特許請求の範囲】

【請求項 1】

複数の気筒と、排気通路を流通する排気の一部を吸気通路へ EGR ガスとして還流させる EGR 通路とを有する内燃機関の制御装置であって、

前記 EGR ガス内の水蒸気比率を取得する水蒸気比率取得手段と、

前記複数の気筒の各気筒について、流入する吸気に対する前記 EGR ガスの比率である EGR 率を取得する EGR 率取得手段と、

前記水蒸気比率と前記各気筒の EGR 率に基づいて前記各気筒内の水蒸気量を算出する水蒸気量算出手段と、

前記各気筒内の温度を取得する温度取得手段と、

10

前記各気筒内の温度に基づいて前記各気筒内の飽和水蒸気量を算出する飽和水蒸気量算出手段と、

を備え、

前記水蒸気量算出手段によって算出された前記各気筒の何れかの気筒内の水蒸気量が、前記飽和水蒸気量算出手段によって算出された当該気筒内の飽和水蒸気量以上の場合に、前記各気筒内における凝縮水の発生を抑制する制御を実行することを特徴とする内燃機関の制御装置。

【請求項 2】

前記水蒸気量算出手段は、前記各気筒の中の前記 EGR 率が最大となる気筒内の水蒸気量を算出し、当該水蒸気量が前記飽和水蒸気量算出手段によって算出された当該気筒内の飽和水蒸気量以上の場合に、前記各気筒内における凝縮水の発生を抑制する制御を実行することを特徴とする請求項 1 に記載の内燃機関の制御装置。

20

【請求項 3】

前記温度取得手段は、前記各気筒に設けられた筒内圧力センサによって検出された筒内圧力値に基づいて、前記各気筒内の温度を取得することを特徴とする請求項 1 または 2 に記載の内燃機関の制御装置。

【請求項 4】

前記内燃機関は、前記各気筒に設けられた燃料噴射弁によって、圧縮上死点近傍におけるメイン噴射の前にパイロット噴射を行うものであって、

前記 EGR 率取得手段は、前記筒内圧力センサによって検出された、前記パイロット噴射によって噴射された燃料の着火時期に基づいて、前記 EGR 率を取得することを特徴とする請求項 1 から 3 の何れか一項に記載の内燃機関の制御装置。

30

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、排気の一部を吸気通路へ還流させる EGR 通路を有する多筒式の内燃機関の制御装置に関する。

【背景技術】

【0002】

従来、自動車用内燃機関においては、窒素酸化物 (NO_x) の低減や燃費向上を目的に、排気通路を流通する排気の一部を吸気通路へ還流 (再循環) させる EGR (Exhaust Gas Recirculation: 排気再循環) と呼ばれる技術が公知である。排気である EGR ガス内には水蒸気が含まれるため、還流された EGR ガスの温度が低下すると凝縮水が発生することがある。発生した凝縮水に EGR ガス内の酸性物質が溶解すると、酸性水溶液が生じて内燃機関の部品を腐食させる虞がある。

40

【0003】

そこで、例えば特許文献 1 には、EGR 通路を備える内燃機関の制御装置において、吸気マニホールドの温度を制御することによって吸気マニホールド内に発生する凝縮水を低減させる技術が提案されている。

【先行技術文献】

50

【特許文献】

【0004】

【特許文献1】特開2003-201903号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0005】

ところで、EGRガス内の水蒸気の凝縮は、EGRガスの温度や飽和蒸気圧に応じて発生するから、吸気マニホールドより下流に位置する内燃機関の気筒内でも発生することがある。そして、複数の気筒を有する多筒式の内燃機関においては、気筒に吸入される吸気のEGR率（吸気量に対するEGRガス量の比率）は、吸気通路や吸気マニホールドの形状等によって気筒毎に異なり、また、その値も内燃機関の運転状態によって変化する。つまり、特許文献1に記載されているような、EGRガスが吸気マニホールドを通過する段階で実行される制御では、気筒内で発生する凝縮水を精度良く低減させることが困難であった。

10

【0006】

このような課題を解決するべく、本発明は、排気の一部を吸気通路へ還流させるEGR通路を有する多筒式の内燃機関において、気筒内における凝縮水の発生を精度良く抑制することを目的とする。

【課題を解決するための手段】

【0007】

上記目的を達成するために、本発明に係る内燃機関の制御装置は、複数の気筒と、排気通路を流通する排気の一部を吸気通路へEGRガスとして還流させるEGR通路とを有する内燃機関の制御装置であって、

20

前記EGRガス内の水蒸気比率を取得する水蒸気比率取得手段と、

前記複数の気筒の各気筒について、流入する吸気に対する前記EGRガスの比率であるEGR率を取得するEGR率取得手段と、

前記水蒸気比率と前記各気筒のEGR率に基づいて前記各気筒内の水蒸気量を算出する水蒸気量算出手段と、

前記各気筒内の温度を取得する温度取得手段と、

前記各気筒内の温度に基づいて前記各気筒内の飽和水蒸気量を算出する飽和水蒸気量算出手段と、

30

を備え、

前記水蒸気量算出手段によって算出された前記各気筒の何れかの気筒内の水蒸気量が、前記飽和水蒸気量算出手段によって算出された当該気筒内の飽和水蒸気量以上の場合に、前記各気筒内における凝縮水の発生を抑制する制御を実行することを特徴とする。

【0008】

ここで、閉空間内においては、閉空間の容積と水蒸気の温度から定まる飽和水蒸気量以上の水蒸気（水分）が存在するときに凝縮水が発生する。つまり、内燃機関の気筒内に存在する水蒸気量が、筒内温度と筒内容積から定まる当該気筒内の飽和水蒸気量以上の場合に凝縮水が発生する。

40

【0009】

そこで、本発明に係る内燃機関の制御装置は、水蒸気量算出手段によって算出された何れかの気筒内の水蒸気量が、飽和水蒸気量算出手段によって算出された当該気筒内の飽和水蒸気量以上の場合に、各気筒内における凝縮水の発生を抑制する制御を実行する。これにより、内燃機関の各気筒内における凝縮水の発生を効果的に抑制することができる。

【0010】

なお、本発明に係る内燃機関の制御装置は、EGRガス内の水蒸気比率を取得する水蒸気比率取得手段と、内燃機関の各気筒のEGR率を取得するEGR率取得手段と、各気筒内の温度を取得する温度取得手段と、を備えているため、各気筒内の水蒸気量と飽和水蒸気量を精度良く算出することができる。

50

【 0 0 1 1 】

また、本発明に係る内燃機関の制御装置は、水蒸気量算出手段が、各気筒の中の E G R 率が最大となる気筒内の水蒸気量を算出し、当該水蒸気量が飽和水蒸気量算出手段によって算出された当該気筒内の飽和水蒸気量以上の場合に、各気筒内における凝縮水の発生を抑制する制御を実行するようにしてもよい。これにより、E G R 率が最大となる気筒、すなわち、最も凝縮水が発生しやすい気筒における凝縮水の発生を抑制することが可能になるため、内燃機関の各気筒内における凝縮水の発生をより効果的に抑制することができる。

【 0 0 1 2 】

また、本発明に係る内燃機関の制御装置は、各気筒に設けられた筒内圧力センサによって検出された筒内圧力値に基づいて、各気筒内の温度を取得するようにしてもよい。これにより、筒内温度をより高精度に取得することが可能になるため、内燃機関の各気筒における凝縮水の発生をより精度良く抑制することが可能になる。

【 0 0 1 3 】

また、本発明に係る内燃機関が、各気筒に設けられた燃料噴射弁によって、圧縮上死点近傍におけるメイン噴射の前にパイロット噴射を行うものであれば、本発明に係る内燃機関の制御装置は、E G R 率取得手段が、筒内圧力センサによって検出された、パイロット噴射によって噴射された燃料の着火時期に基づいて、E G R 率を取得するようにしてもよい。これにより、各気筒の E G R 率をより高精度に取得することが可能になるため、内燃機関の各気筒における凝縮水の発生をより精度良く抑制することが可能になる。

【 発明の効果 】

【 0 0 1 4 】

本発明に係る内燃機関の制御装置によれば、排気の一部を吸気通路へ還流させる E G R 通路を有する多筒式の内燃機関において、気筒内における凝縮水の発生を精度良く抑制することが可能になる。

【 図面の簡単な説明 】

【 0 0 1 5 】

【 図 1 】 実施例 1 に係る内燃機関の構成を示す概略図である。

【 図 2 】 実施例 1 に係る内燃機関の E G R 装置における E G R ガス量と還流遅れの関係を示すグラフである。

【 図 3 】 実施例 1 に係る内燃機関の気筒における筒内温度の推移を示すグラフである。

【 図 4 】 実施例 1 に係る制御装置における制御ルーチンを示すフローチャートである。

【 図 5 】 実施例 2 に係る制御装置による E G R 率の取得方法を説明するグラフである。

【 発明を実施するための形態 】

【 0 0 1 6 】

[実施例 1]

< 内燃機関の構成 >

以下に図面を参照して、この発明を実施するための最良の形態を例示的に詳しく説明する。なお、本実施の形態に記載されている構成要素の寸法、材質、形状、その相対配置等は、特に特定の記載がない限りは、発明の技術的範囲をそれらだけに限定する趣旨のものではない。

【 0 0 1 7 】

図 1 は、本実施例における内燃機関の構成を示す概略図である。図 1 に示す内燃機関 10 は、4 つの気筒 11 を有するディーゼルエンジンである。図 1 に示されるように、内燃機関 10 には、吸気通路 12 の一部としての吸気マニホールド 13 が接続されており、吸気マニホールド 13 の各枝管は吸気ポート（不図示）を介して各気筒 11 の燃焼室に連通されている。吸気通路 12 の上流側には、吸気通路 12 内を流通する空気の流量を調節するスロットル 14 と、この流量を電気信号として出力するエアフローメータ 15 が配設されている。また、吸気マニホールド 13 には、気筒 11 内に流入する吸気の吸気圧を出力する吸気圧センサ 16 が設置されている。

10

20

30

40

50

【 0 0 1 8 】

また、各気筒 1 1 には、燃焼室に燃料を直接噴射する燃料噴射弁 2 0 が設けられている。燃料噴射弁 2 0 から噴射された燃料は、燃焼室内で圧縮された吸気内で自然着火されることによって燃焼する。また、各気筒 1 1 には、筒内圧力を電気信号として出力する筒内圧力センサ 2 1 が設けられている。そして、内燃機関 1 0 には、機関回転数（以下、「N E」という。）を検出するクランクセンサ 2 2 が設置されている。

【 0 0 1 9 】

また、内燃機関 1 0 には、排気通路 3 0 の一部としての排気マニホールド 3 1 が接続されており、排気マニホールド 3 1 の各枝管は排気ポート（不図示）を介して各気筒 1 1 の燃焼室と接続されている。また、排気マニホールド 3 1 には、気筒 1 1 から排出された排気の温度を検出するための排気温度センサ 3 2 が設置されている

10

【 0 0 2 0 】

そして、内燃機関 1 0 は、排気マニホールド 3 1 を通過する排気の一部を吸気通路 1 2 に還流させる E G R 装置 4 0 を備えている。この E G R 装置 4 0 は、排気マニホールド 3 1 と吸気通路 1 2 とを接続する E G R 通路 4 1 を備えている。E G R 通路 4 1 には、内部を流れる排気（以下、「E G R ガス」という。）を冷却する E G R クーラ 4 2、E G R ガスの流量（以下、「E G R ガス量」という。）に対応した電気信号を出力する E G R ガス量計 4 3、及び E G R ガス量を調節可能な E G R 弁 4 4 が配設されている。更に、E G R 通路 4 1 には、E G R クーラ 4 2 をバイパスさせるバイパス通路 4 5 が設けられており、バイパス通路 4 5 への分岐部に設けられた調節弁 4 6 によって、E G R クーラ 4 2 を流通

20

【 0 0 2 1 】

このように構成された E G R 装置 4 0 では、E G R 弁 4 4 を開弁することによって、開弁量に応じた流量の E G R ガスを排気マニホールド 3 1 から吸気通路 1 2 へと還流させることができる。その際に、E G R ガスは、E G R クーラ 4 2 内を通過することによって冷却されてから吸気通路 1 2 へ還流される。ここで、E G R クーラ 4 2 を通過する E G R ガス量を調節弁 4 6 を用いて調節することによって、最終的に吸気通路 1 2 に流入する E G R ガスの温度を増減させることができる。

【 0 0 2 2 】

以上のような構成を有する内燃機関 1 0 は、本実施例における凝縮水発生の抑制制御も含めた統括的な制御を実行する制御装置としての E C U (Electronic Control Unit) 1 0 0 によって制御される。この E C U 1 0 0 には、上述した各種のメータやセンサが電気配線を介して接続されており、それらからの出力信号が E C U 1 0 0 に入力されるようになっている。また、E C U 1 0 0 には、スロットル 1 4、燃料噴射弁 2 0、E G R 弁 4 4、調節弁 4 6 等が電気配線を介して接続されており、E C U 1 0 0 からの信号によって制御されるようになっている。また、E C U 1 0 0 は、内部に記憶装置としての R O M 1 0 1 を備えている。R O M 1 0 1 には、内燃機関 1 0 の種々の制御を行うためのプログラムや、種々のデータから構成される数値マップが記憶されている。また、制御実行中に E C U 1 0 0 が算出・取得した値は R O M 1 0 1 内に適宜記憶される。

30

【 0 0 2 3 】

< 筒内凝縮水の発生予測 >

次に、E C U 1 0 0 によって実行される、内燃機関 1 0 の各気筒 1 1 内で凝縮する凝縮水（以下、「筒内凝縮水」という。）の発生予測について説明する。この発生予測は、本実施例に係る筒内凝縮水の発生を抑制する制御の制御ルーチン（図 4 参照。以下、「制御ルーチン」という。）において実行される。なお、この発生予測においては 5 つの処理が実行されるため、以下これらを順に説明する。

40

【 0 0 2 4 】

（処理 1：E G R ガスの還流遅れ予測処理）

上述のように、E G R ガスは、排気マニホールド 3 1 から E G R 通路 4 1 を経由して吸気通路 1 2 に還流される。そのため、気筒 1 1 から排出された排気が E G R ガスとして再

50

び気筒 1 1 内に流入するまでには、EGR ガスが EGR 通路 4 1 等を通過するのに要した時間だけ遅れ（以下、「還流遅れ」という。）が発生する。つまり、制御ルーチン実行時に各気筒 1 1 内に流入する EGR ガスは、所定の還流遅れ前に各気筒 1 1 から排出された排気であると考えてよい。そこで、本処理においては、還流遅れと還流される EGR ガス量との間に成立する以下の関係に基づいて、制御ルーチン実行時に各気筒 1 1 内に流入する EGR ガスの還流遅れが取得される。

【 0 0 2 5 】

図 2 は、内燃機関 1 0 の EGR 装置 4 0 における、EGR ガスの還流遅れと EGR ガス量の関係を示すグラフである。なお、横軸が内燃機関 1 0 の 1 回転毎に還流される EGR ガス量 [g / 回転] を示し、縦軸が還流遅れ [回転数] を示している。なお、図 2 には、吸気圧が 0 . 3 4 M P a の場合における、内燃機関 1 0 の NE が 1 2 0 0 r p m と 2 4 0 0 r p m のときの還流遅れの実測値が示されており、更に、同吸気圧における還流遅れのシミュレーション値が示されている。

10

【 0 0 2 6 】

図 2 に示されるように、還流遅れを回転数で表わした場合には、還流遅れと EGR ガス量との間にグラフ L₁ で示されるような相関関係があることが分かる。つまり、吸気圧が一定の場合には、NE に関わらず還流遅れはグラフ L₁ で示される特性に概ね従う。したがって、この特性に基づけば、制御ルーチン実行時に気筒 1 1 内に流入した EGR ガスが、何回転前に気筒 1 1 から排出された排気であるかを、制御ルーチン実行時における EGR ガス量から予測することが可能になる。そこで、グラフ L₁ で示されるような還流遅れの特性を、想定される範囲内の吸気圧に対して予め求めておけば、制御ルーチン実行時に各気筒 1 1 内に流入する EGR ガスが、何回転前に各気筒 1 1 から排出された排気であるかを、制御ルーチン実行時における吸気圧と EGR ガス量から予測することが可能になる。

20

【 0 0 2 7 】

そこで、本実施例においては、想定される範囲内の吸気圧に対応する還流遅れ特性が、予め実験等によって求められたデータから構成される数値マップとして ROM 1 0 1 に記憶されている。そして、ECU 1 0 0 は、この数値マップから、制御ルーチン実行時に吸気圧センサ 1 6 によって検出される吸気圧と EGR ガス量計 4 3 によって検出される EGR ガス量とに対応する回転数 n を、本制御ルーチン時に各気筒 1 1 内に流入する EGR ガスの還流遅れとして取得する。なお、ECU 1 0 0 は、後述する処理 3 において、このようにして取得した回転数 n を用いて、当該制御ルーチン実行時に気筒 1 1 内に流入する EGR ガスの組成を予測する。

30

【 0 0 2 8 】

（処理 2：気筒別 EGR 率取得処理）

本処理では、ECU 1 0 0 によって、制御ルーチン実行時における各気筒 1 1 の EGR 率（吸気量に対する EGR ガス量の比率）が取得され、更にはその中から最大の EGR 率が取得される。ここで、4 つの気筒 1 1 の全てにおいて吸入・圧縮・燃焼・排気の 4 行程が一巡するサイクル（クランクシャフト 2 回転）を内燃機関 1 0 の燃焼サイクルと定義すると、1 燃焼サイクルにおいて各気筒 1 1 に流入する EGR ガス量は、吸気通路 1 2 や吸気マニホールド 1 3 の形状等によってそれぞれ異なる。また、吸気量や EGR ガス量は、内燃機関 1 0 の運転状態によって常に変化する。つまり、各気筒 1 1 の EGR 率は、気筒 1 1 毎に異なり、また、内燃機関 1 0 の運転状態に応じて常に変化する。そこで、本実施例では、予め実験等によって求められた各気筒 1 1 の EGR 率が、内燃機関 1 0 の運転状態等の諸条件に対応付けて ROM 1 0 1 内に記憶されている。そして、ECU 1 0 0 は、制御ルーチンの実行時において、ROM 1 0 1 内の数値マップを参照して諸条件に対応する各気筒 1 1 の EGR 率を取得する。

40

【 0 0 2 9 】

なお、本実施例に係る筒内凝縮水の発生予測は、各制御ルーチン実行時において最も凝縮水の発生しやすい気筒 1 1 について行われる。つまり、各燃焼サイクルにおいて最も凝

50

縮水が発生しやすい気筒 1 1 について筒内凝縮水の発生予測を実行すれば、筒内凝縮水の発生を抑制する制御を精度良くかつ効率的に実行することが可能になる。なお、最も凝縮水が発生しやすい気筒 1 1 は、筒内の水蒸気量が最も多くなる気筒 1 1、すなわち、流入する EGR ガス量が最も多い気筒 1 1 であると考えてよい。したがって、本処理においては、上述の数値マップから取得された各気筒 1 1 の EGR 率の中から最大の EGR 率が選択される。

【 0 0 3 0 】

(処理 3 : 燃焼後筒内ガス組成予測処理)

本処理は、燃焼後に気筒 1 1 内に存在する気体の組成、すなわち、気筒 1 1 から排出される排気内に含まれる各気体成分のモル比率を予測する処理である。なお、本処理においては、気筒 1 1 内で理想的な燃焼が発生することを前提にする。そのため、予測対象の気体は、窒素 (N_2)、酸素 (O_2)、二酸化炭素 (CO_2) 及び水蒸気 (H_2O) の 4 種類とする。また、本処理は、上述の処理 2 で取得された最大 EGR 率を有する最も凝縮水の発生しやすい気筒 1 1 (以下、「気筒 1 1 a」という。) について実行される。

10

【 0 0 3 1 】

以下、各気体成分の物質質量に着目して本処理を説明する。まず、本処理実行時の燃焼サイクルにおいて気筒 1 1 a に流入する EGR ガス量 $M_{egr} [mol]$ は、最大 EGR 率 m_{max} を用いて、次の式で求められる。

$$M_{egr} = M_{air} * m_{max} / (1 - m_{max}) \quad \dots (1)$$

20

【 0 0 3 2 】

なお、 $M_{air} [mol]$ は本燃焼サイクルにおいて気筒 1 1 a に流入する筒内吸入空気量であって、エアフローメータ 1 5 によって検出された空気量から求められる。

【 0 0 3 3 】

次に、本燃焼サイクルにおいて気筒 1 1 a に流入した吸気 (空気と EGR ガスの合計) における各気体分量 $M_{N_2 in}$ 、 $M_{O_2 in}$ 、 $M_{CO_2 in}$ 、 $M_{H_2O in} [mol]$ は、以下の式で表わされる。

$$M_{N_2 in} = N_{2air} * M_{air} + N_{2egr}(n) * M_{egr} \quad \dots (2)$$

$$M_{O_2 in} = O_{2air} * M_{air} + O_{2egr}(n) * M_{egr} \quad \dots (3)$$

$$M_{CO_2 in} = CO_{2air} * M_{air} + CO_{2egr}(n) * M_{egr} \quad \dots (4)$$

$$M_{H_2O in} = H_{2Oair} * M_{air} + H_{2Oegr}(n) * M_{egr} \quad \dots (5)$$

30

【 0 0 3 4 】

ここで、 N_{2air} 、 O_{2air} 、 CO_{2air} 、 H_{2Oair} は、空気中における N_2 、 O_2 、 CO_2 、 H_2O のモル比率である。なお、空気中の水蒸気比率である H_{2Oair} は、例えば、内燃機関 1 0 が搭載される自動車に設置された湿度計の検出値から取得することができる。また、 N_{2air} 、 O_{2air} 及び CO_{2air} は、取得された H_{2Oair} と、一般的な空気の各気体成分比から適宜算出すればよい。

【 0 0 3 5 】

また、 $N_{2egr}(n)$ 、 $O_{2egr}(n)$ 、 $CO_{2egr}(n)$ 、 $H_{2Oegr}(n)$ は、本燃焼サイクルにおいて気筒 1 1 a 内に流入する EGR ガスの予測組成 (各気体成分の予測モル比率) であって、上述の処理 1 によって取得された n 回転前に気筒 1 1 a から排出された排気の組成である。つまり、n 回転前に本処理によって予測された各気体成分のモル比率である。

40

【 0 0 3 6 】

次に、本燃焼サイクルにおいて気筒 1 1 a 内で発生する燃焼について説明する。気筒 1 1 a 内の燃料噴射弁 2 0 から噴射される噴射量を $Q [g]$ とすると、噴射燃料内の炭素モル数 $M_{fuel} [mol]$ は、燃料内の水素 / 炭素比率を m とすると、

$$M_{fuel} = Q / (12 + m) \quad \dots (6)$$

より表わされる。そして、当該燃料の燃焼の化学反応式は次の化学式で表わされる。



50

【 0 0 3 7 】

そうすると、当該燃料の燃焼後において気筒 1 1 a 内に存在する各気体成分量 MN_2ex 、 MO_2ex 、 MCO_2ex 、 MH_2Oex [mol] は、以下の式で表わされる。

$$MN_2ex = MN_2in \quad \dots (8)$$

$$MO_2ex = MO_2in - (1+m/4)Mfuel \quad \dots (9)$$

$$MCO_2ex = MCO_2in + Mfuel \quad \dots (10)$$

$$MH_2Oex = MH_2Oin + (m/2)Mfuel \quad \dots (11)$$

【0038】

なお、式(11)によって算出された MH_2Oex が、本燃焼サイクルにおいて気筒 1 1 a 内に発生した水蒸気量(以下、「筒内水蒸気量」という。)である。

【0039】

以上より、燃焼後における気筒 1 1 a 内の各気体成分のモル比率は、以下の式で求められる。

$$N_2ex = MN_2ex / (MN_2ex + MO_2ex + MCO_2ex + MH_2Oex) \quad \dots (12)$$

$$O_2ex = MO_2ex / (MN_2ex + MO_2ex + MCO_2ex + MH_2Oex) \quad \dots (13)$$

$$CO_2ex = MCO_2ex / (MN_2ex + MO_2ex + MCO_2ex + MH_2Oex) \quad \dots (14)$$

$$H_2Oex = MH_2Oex / (MN_2ex + MO_2ex + MCO_2ex + MH_2Oex) \quad \dots (15)$$

【0040】

このようにして、本燃焼サイクルにおける燃焼後の気筒 1 1 a 内のガス組成、つまり、本燃焼サイクルで気筒 1 1 a から排出される排気のガス組成を予測することができる。そして、ECU100 は、この予測結果を ROM101 内に記憶させる。

【0041】

(処理4：筒内飽和水蒸気量算出処理)

本処理では、燃焼後における気筒 1 1 a 内の飽和水蒸気量(以下、「筒内飽和水蒸気量」という。)が算出される。なお、閉空間内における飽和水蒸気量は温度上昇と共に上昇する。したがって、気筒 1 1 a の筒内凝縮水の発生を予測する際には、凝縮水の最も発生しやすい温度、すなわち、気筒 1 1 a の筒内温度が燃焼後において最も低下するときの飽和水蒸気量を求めればよい。そこで、まず燃焼の前後における気筒 1 1 a の筒内温度の推移について図面を用いて説明する。

【0042】

図3は、気筒 1 1 a の筒内温度の推移を示すグラフであり、横軸が上死点後クランク角 [deg ATDC] を示し、縦軸が筒内温度を示している。なお、図3のグラフ L_2 は、圧縮工程前の下死点 (-180 deg ATDC) から、燃焼工程後の下死点 (180 deg ATDC) までの筒内温度の推移を示している。グラフ L_2 に示されるように、圧縮工程において上昇した筒内温度は、圧縮上死点直後における燃料着火によってクランク角 θ_1 において最高温度に達する。その後、筒内温度は、ピストンの降下による筒内容積の増大に伴って徐々に低下していく。ここで、気筒 1 1 a の排気バルブはクランク角 θ_2 において開弁される。そのため、クランク角 θ_2 以降においては、筒内温度が更に低下するものの、気筒 1 1 a 内の排気が排出されるために筒内の水蒸気量も低下する。つまり、排気バルブの開弁開始時点であるクランク角 θ_2 が、燃焼後の全水蒸気が筒内に存在している場合における最も筒内温度が低い時点、すなわち、最も凝縮水が発生しやすい時点となる。そこで、本処理においてはクランク角 θ_2 における筒内飽和水蒸気量を取得する。

【0043】

なお、クランク角 θ_2 における筒内温度 $Tevo$ [°C] に対応する飽和水蒸気量 DH_2Os [mol/cm³] は、予め ROM101 内に用意された数値マップから適宜選択すればよい。そして、クランク角 θ_2 における筒内容積を $Vevo$ [cm³] とすると、クランク角 θ_2 における気筒 1 1 a の筒内飽和水蒸気量 MH_2Os [mol] は、次の式で算出される。

$$MH_2Os = DH_2Os * Vevo \quad \dots (17)$$

【0044】

(処理5：筒内凝縮水発生予測処理)

10

20

30

40

50

既に述べたように、気筒 1 1 a 内に存在する水蒸気量が、気筒 1 1 a 内の飽和水蒸気量以上の場合に筒内凝縮水が発生すると予測される。したがって、本処理では、処理 3 の式 (1 1) において算出された筒内水蒸気量 MH_2O_{ex} が、処理 4 の式 (1 7) において算出された筒内飽和水蒸気量 MH_2O_s 以上であるかが判定される。そして、肯定的な判定が下されれば、気筒 1 1 a において筒内凝縮水が発生すると判定される。

【 0 0 4 5 】

なお、制御ルーチンにおいては、この判定をもって、ECU 1 0 0 による筒内凝縮水の発生を抑制する制御（以下、「抑制制御」という。）の実行が決定される。つまり、この判定は、最も筒内凝縮水が発生しやすい気筒についての、最も筒内凝縮水が発生しやすい時点における筒内凝縮水の発生予測であるから、この判定に基づくことによって精度良く抑制制御を実行することが可能になる。

10

【 0 0 4 6 】

< 抑制制御の制御ルーチン >

次に、本実施例における筒内凝縮水発生の抑制制御の制御ルーチンについてフローチャートを用いて説明する。なお、この制御ルーチンは、EGR 装置 4 0 による EGR ガスの還流中において燃焼サイクル毎に実行される。

【 0 0 4 7 】

図 4 は、ECU 1 0 0 によって実行される制御ルーチンを示すフローチャートである。この制御ルーチンが開始されると、まず、ステップ S 1 0 1 において、ECU 1 0 0 は、本制御ルーチン実行時に内燃機関 1 0 の各気筒 1 1 に流入する空気量である筒内吸入空気量 $M_{air} [mol]$ を取得する。 M_{air} は、エアフローメータ 1 5 からの出力値に基づいて求められる。また、本ステップにおいて、上述の方法によって流入する空気の組成も取得される。

20

【 0 0 4 8 】

次に、ステップ S 1 0 2 では、本制御ルーチン実行時に各気筒 1 1 に流入する EGR ガスの組成が取得される。具体的には、まず、上述の EGR ガスの還流遅れ取得処理（処理 1 ）によって、本制御ルーチン実行時に各気筒 1 1 に流入する EGR ガスの還流遅れ回転数 n が取得される。そして、ECU 1 0 0 は、ROM 1 0 1 内に記憶されている、 n 回転前の制御ルーチンにおいて予測された燃焼後筒内ガス組成 ($N_2egr(n)$ 、 $O_2egr(n)$ 、 $CO_2egr(n)$ 、 $H_2Oegr(n)$) を取得する。なお、この筒内ガス組成は、 n 回転前の制御ルーチンのステップ S 1 0 5 において、上述の燃焼後筒内ガス組成予測処理（処理 3 ）によって算出された組成である。

30

【 0 0 4 9 】

次に、ステップ S 1 0 3 では、ECU 1 0 0 は、上述の気筒別 EGR 率取得処理（処理 2 ）によって、本制御ルーチン実行時における各気筒 1 1 の EGR 率を取得し、その中から最大の EGR 率である最大 EGR 率 max を取得する。

【 0 0 5 0 】

次に、ステップ S 1 0 4 では、ECU 1 0 0 は、本制御ルーチン実行時において EGR 率が最大となる気筒 1 1、つまり取得された max に係る気筒 1 1 a 内に噴射される燃料噴射量 $Q [g]$ を取得する。

40

【 0 0 5 1 】

次に、ステップ S 1 0 5 では、上述の燃焼後筒内ガス組成予測処理（処理 3 ）によって、本制御ルーチン実行時において気筒 1 1 a に発生した筒内ガス組成を予測する。すなわち、ステップ S 1 0 1 で取得された空気の組成、ステップ S 1 0 2 で取得された EGR ガス組成、及び前ステップで取得された燃料量 Q に基づいて燃焼後筒内ガス組成が算出される。なお、このステップにおいて算出された、筒内水蒸気量 MH_2O_{ex} が、後述するステップ S 1 0 8 において筒内飽和水蒸気量 MH_2O_s と比較される。また、このようにして取得されたガス組成は、ROM 1 0 1 に記憶され、以降の制御ルーチンのステップ S 1 0 2 において、当該制御ルーチン時の還流遅れに応じて読み出される。

【 0 0 5 2 】

50

次に、ステップS106では、上記の筒内飽和水蒸気量算出処理（処理4）の説明で述べたように、気筒11aの排気バルブの開弁開始時点における筒内温度 T_{ev0} が取得される。本実施例においては、筒内温度 T_{ev0} は、排気マニホールド31に設けられた排気温度センサ32によって検出された排気温度を用いる。

【0053】

次に、ステップS107では、ECU100は、ROM101に用意された数値マップを参照して前ステップで取得された筒内温度 T_{ev0} に対応する飽和水蒸気量 DH_2O_s を取得する。そして、開弁開始時点における筒内容積 V_{ev0} を用いて、式（17）より本制御ルーチン実行時における気筒11aの筒内飽和水蒸気量 MH_2O_s を算出する。

【0054】

次に、ステップS108では、上述の筒内凝縮水発生予測処理（処理5）によって、気筒11a内における筒内凝縮水の発生予測が実行される。すなわち、ステップS105で取得された筒内水蒸気量 MH_2O_{ex} が、前ステップで算出された筒内飽和水蒸気量 MH_2O_s 以上であるかが判定される。肯定的な判定がなされた場合には、気筒11a内で凝縮水が発生すると予測されて、ステップS109に進んで抑制制御が実行される。一方、否定的な判定がなされた場合には、気筒11a内で凝縮水は発生しないと予測されるため、抑制制御は実行されずに本制御ルーチンは終了する。

【0055】

なお、ステップS109において実行される筒内凝縮水発生の抑制制御としては、複数の方法が考えられる。例えば、調節弁46を調節してバイパス通路45を流通するEGRガスを増大させることによって、EGRクーラ42によって冷却されるEGRガスを減少させる。これにより、吸気通路12に還流されるEGRガス温度が上昇して、各気筒11内の燃焼後筒内温度が上昇する。したがって、各気筒11の筒内飽和水蒸気量が上昇して凝縮水の発生が抑制される。また、EGR弁44を調節してEGRガスを低減させてもよい。これにより、各気筒11内に流入するEGRガス量が減少することによって、各気筒における燃焼後の筒内水蒸気量が減少する。その結果、各気筒11内での凝縮水の発生が抑制される。

【0056】

なお、本実施例においては、ステップS102でのEGRガス組成の取得時において、EGRガス内の水蒸気モル比率（ $H_2O_{egr}(n)$ ）を取得するECU100が、本発明における水蒸気比率取得手段に相当する。また、ステップS103において各気筒11のEGR率を取得するECU100が、本発明におけるEGR率取得手段に相当し、ステップS105において筒内水蒸気量 MH_2O_{ex} を算出するECU100が、本発明における水蒸気量算出手段に相当する。更に、ステップS106において筒内温度 T_{ev0} を取得する排気温度センサ32が、本発明における温度取得手段に相当し、ステップS107において筒内飽和水蒸気量 MH_2O_s を算出するECU100が、本発明における飽和水蒸気量算出手段に相当する。

【0057】

以上のように、この制御ルーチンによれば、最も凝縮水の発生しやすい気筒11aの筒内水蒸気量が、気筒11aの筒内飽和水蒸気量以上の場合に、各気筒11内における凝縮水の発生を抑制する制御が実行される。これにより、内燃機関10の各気筒11内における凝縮水の発生を効果的かつ効率的に抑制することができる。

【0058】

なお、本実施例に係るEGR装置40は、EGR通路41が排気マニホールド31に接続されていることによって、高温高圧のEGRガスが還流されるいわゆるHPL-EGR装置である。しかしながら、EGR通路41が排気通路30のより下流に接続されることによって、低温低圧のEGRガスが還流されるいわゆるLPL-EGR装置が設置された内燃機関においても、本実施例と同様の手法によって各気筒内における凝縮水の発生を抑制することができる。また、HPL-EGR装置とLPL-EGR装置の双方を備えた内燃機関に関しても同様である。

10

20

30

40

50

【0059】

また、本実施例では、制御ルーチンのS103において選択された最大EGR率 $m a x$ を有する気筒11aのみについて凝縮水の発生予測が行われるが、全ての気筒11について発生予測を行ってもよい。つまり、内燃機関10が有する全ての気筒11について、筒内水蒸気量と筒内飽和水蒸気量を算出し、何れかの気筒11において、筒内水蒸気量が筒内飽和水蒸気量以上である場合に、凝縮水の発生を抑制する制御を実行するようにしてもよい。

【0060】

更にまた、本実施例では、制御ルーチンのステップS106において排気温度センサ32によって排気バルブ開弁開始時点の筒内温度 $T e v o$ を取得しているが、当該時点において筒内圧力センサ21によって検出される筒内圧力値から筒内温度 $T e v o$ を取得してもよい。つまり、検出された筒内圧力値と、当該時点における気筒11の容積 $V e v o$ 、更に当該時点において気筒11内に存在する気体の総物質質量（上述の式(8)～(11)によって算出された各気体成分の物質質量を合算して算出される）を気体の状態方程式に代入すれば、排気バルブ開弁開始時点における筒内温度 $T e v o$ を算出することができる。この方法によれば、各気筒11の筒内温度 $T e v o$ をより高精度に取得することができるため、筒内水蒸気量や筒内飽和水蒸気量をより精度良く算出することができる。その結果、各気筒11における凝縮水の発生をより精度良く抑制することが可能になる。

【0061】

[実施例2]

次に、本発明に係る内燃機関の制御装置の他の実施例である実施例2について説明する。実施例2においては、内燃機関10の燃料噴射弁20が、圧縮上死点近傍におけるメイン噴射の前にパイロット噴射を行う場合を前提とする。なお、実施例2は、実施例1によって実行される制御ルーチンにおいて、ステップS103におけるEGR率取得の処理方法が異なるのみである。したがって、以下においてはこれについてのみ説明を行い、実施例1と同一又は同等の構成部分については同一の符号を用いて説明を省略する。

【0062】

実施例2におけるEGR率の取得方法においては、燃料噴射弁20によって実行されるパイロット噴射によって噴射された燃料の着火時期（パイロット着火遅れ）に基づいて各気筒11のEGR率が算出される。なお、パイロット噴射とは、燃焼に供される燃料の大部分が噴射される圧縮上死点近傍におけるメイン噴射の前に実行される噴射であって、より少ない量の燃料が噴射される。以下、このパイロット噴射について図面を用いて説明する。

【0063】

図5は、燃料噴射弁20によって実行されるパイロット噴射を説明する図であり、(a)は燃料噴射パルスの出力時期と熱発生率との関係を示すグラフ、(b)はパイロット着火遅れと気筒11内の吸気酸素濃度との関係を示すグラフである。

【0064】

図5(a)は、クランク角 θ_3 と θ_4 においてパイロット噴射が実行された後にクランク角 θ_6 でメイン噴射が実行された場合における、燃料噴射弁20に入力される噴射パルスと噴射された燃料の熱発生率 $[J / d e g]$ の推移（グラフ L_3 ）を示している。なお、燃料噴射の実行時期と噴射パルスの入力時期は等しいと考えてよい。グラフ L_3 に示されるように、クランク角 θ_3 において1回目のパイロット噴射が実行されて気筒11内に燃料が供給されると、クランク角 θ_5 から熱発生率が急激に上昇し始める。このことは、1回目のパイロット噴射によって噴射された燃料がクランク角 θ_5 において着火（パイロット着火）されたことを意味する。ここで、パイロット噴射からパイロット着火までの期間である $\theta_5 - \theta_3 [d e g]$ をパイロット着火遅れと定義すると、パイロット着火遅れと燃焼前における気筒11内の吸気酸素濃度との間には、図5(b)のグラフ L_4 で示されるような関係が成立する。つまり、グラフ L_4 で示される関係を予め求めておけば、気筒11内で発生する燃焼のパイロット着火遅れに基づいて、当該気筒11内に吸入された

10

20

30

40

50

吸気の酸素濃度を決定することができる。なお、パイロット着火時点であるクランク角₅においては筒内圧力も急激に上昇する。したがって、筒内圧力センサ 2 1 によってこの急激な筒内圧力上昇を検出することによって、パイロット着火時期を検出することができる。そして、この検出時期においてクランクセンサ 2 2 によって検出されたクランク角₅とすれば、パイロット着火遅れを算出することができる。

【 0 0 6 5 】

そして、制御ルーチンのステップ S 1 0 3 における E G R 率の取得は次のように実行する。例えば、直前の燃焼サイクルにおけるパイロット着火遅れから決定された筒内酸素濃度と、制御ルーチンのステップ S 1 0 1 において取得された筒内吸入空気量 M_{air} と流入する空気の組成、及びステップ S 1 0 2 において取得された E G R ガス組成より、今回の制御ルーチンの燃焼サイクルにおいて各気筒 1 1 に流入した E G R ガス量 M_{egr} が求められる。すると、上述の式 (1) を変形した次の式より、各気筒 1 1 の E G R 率を求めることができる。

10

$$= M_{egr} / (M_{air} + M_{egr}) \quad \dots (1 8)$$

【 0 0 6 6 】

なお、最大 E G R 率 m_{ax} が必要な場合は、このようにして取得された各気筒 1 1 の E G R 率の中から最も大きい値を選択すればよい。

【 0 0 6 7 】

本実施例によれば、内燃機関 1 0 の燃焼噴射弁 2 0 がパイロット噴射を実行する場合において、ECU 1 0 0 が、筒内圧力センサ 2 1 によって検出されたパイロット着火時期に基づいて、各気筒 1 1 の E G R 率を取得する。これにより、各気筒 1 1 間や各燃料噴射弁 2 0 間の個体差に影響されずに、精度良く各気筒 1 1 の E G R 率を取得することができる。したがって、本実施例によれば、筒内水蒸気量や筒内飽和水蒸気量をより精度よく算出して、高精度な筒内凝縮水の発生予測を行うことができる。その結果、内燃機関 1 0 の各気筒 1 1 における凝縮水の発生をより高精度に抑制することが可能になる。

20

【 符号の説明 】

【 0 0 6 8 】

- 1 0 内燃機関
- 1 1 燃焼室
- 1 2 吸気通路
- 2 0 燃料噴射弁
- 3 1 排気間にホールド
- 4 0 E G R 装置
- 4 1 E G R 通路
- 1 0 0 E C U

30

フロントページの続き

(72)発明者 林 大介

愛知県豊田市トヨタ町1番地 トヨタ自動車株式会社内

(72)発明者 島崎 勇一

愛知県豊田市トヨタ町1番地 トヨタ自動車株式会社内

Fターム(参考) 3G062 AA01 BA05 ED08 FA11 FA13 FA18 GA01 GA02 GA06 GA18