

(19) 日本国特許庁 (JP)

(12) 特 許 公 報 (B2)

(11) 特許番号
特許第4323907号
(P4323907)

(45) 発行日 平成21年9月2日 (2009.9.2)

(24) 登録日 平成21年6月12日 (2009.6.12)

(51) Int.Cl.

F I

FO2D 21/08 (2006.01)

FO2M 25/07 (2006.01)

FO2D 41/04 (2006.01)

FO2D 41/38 (2006.01)

FO2D 45/00 (2006.01)

FO2D 21/08 3O1D

FO2M 25/07 55OF

FO2M 25/07 55O

FO2M 25/07 55OR

FO2M 25/07 57OJ

請求項の数 5 (全 20 頁) 最終頁に続く

(21) 出願番号	特願2003-330073 (P2003-330073)	(73) 特許権者	000003207 トヨタ自動車株式会社
(22) 出願日	平成15年9月22日 (2003.9.22)		愛知県豊田市トヨタ町1番地
(65) 公開番号	特開2005-248703 (P2005-248703A)	(73) 特許権者	000003609 株式会社豊田中央研究所
(43) 公開日	平成17年9月15日 (2005.9.15)		愛知県愛知郡長久手町大字長湫字横道4-1
審査請求日	平成18年9月21日 (2006.9.21)		番地の1
(31) 優先権主張番号	特願2002-378018 (P2002-378018)	(74) 代理人	100099759 弁理士 青木 篤
(32) 優先日	平成14年12月26日 (2002.12.26)	(74) 代理人	100092624 弁理士 鶴田 準一
(33) 優先権主張国	日本国 (JP)	(74) 代理人	100102819 弁理士 島田 哲郎
		(74) 代理人	100082898 弁理士 西山 雅也

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】

機関燃焼室に燃料を噴射する燃料噴射弁と、
機関排気の一部をEGRガスとして機関燃焼室に還流させるEGR装置と、
機関燃焼室内の圧力を検出する筒内圧センサとを備えた内燃機関の制御装置であって、
更に、前記筒内圧センサで検出した燃焼室内圧力に基づいて、着火遅れ期間と燃焼期間
の少なくとも一方を含む燃焼タイミングに対応する燃焼圧特性値を算出する燃焼タイミ
ング算出手段と、

前記EGR装置を制御して前記燃焼タイミング算出手段が算出した燃焼タイミングに対
応する燃焼圧特性値が予め定めた目標値になるように前記EGRガスを調節する制御手
段と、

を備え、

前記燃焼タイミング算出手段は、前記筒内圧センサで検出した燃焼室内圧力Pと、クラ
ンク角 から定まる燃焼室容積Vとの積PVの値に基づいて、燃料噴射弁からの燃料噴射
開始後前記PVの値が最大値PVmaxをとるまでの時間 Tを前記燃焼タイミングに対
応する燃焼圧特性値として算出し、前記制御手段は、前記 Tが予め定めた目標値にな
るように前記EGRガスを調節する、内燃機関の制御装置。

【請求項2】

前記燃焼タイミング算出手段は更に、燃焼室内で燃焼が生じなかったと仮定した場合の
ピストンの圧縮のみにより生じる燃焼室内圧力とクランク角から定まる燃焼室容積との積

P V b a s eを算出し、前記 P V が最大値 P V m a x となるクランク角 m a x における P V b a s e の値を用いて、P V m a x と P V b a s e との差 P V m a x を算出し、前記制御手段は更に、P V m a x と前記 m a x との値がそれぞれ予め定めた目標値になるように前記燃料噴射弁からの燃料噴射量と燃料噴射時期とを制御する、請求項 1 に記載の内燃機関の制御装置。

【請求項 3】

前記目標値は、機関回転数とアクセル開度とに応じて定められる、請求項 1 または請求項 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、圧縮着火機関である請求項 3 に記載の内燃機関の制御装置。

10

【請求項 5】

前記制御手段は更に前記機関を、圧縮行程後期に燃料噴射を行い空気過剰率の大きい燃焼を行う通常燃焼モードと、通常燃焼モードより燃料噴射時期を進角し、かつ E G R ガス量を増大した低温燃焼モードとを切り換えて運転するとともに、前記 T の値に基づく E G R ガス量制御を機関の前記低温燃焼モード運転時に行う、請求項 4 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】

【0001】

本発明は、内燃機関の制御装置に関し、詳細には機関に排気ガスの一部を E G R ガスとして還流させる E G R 装置を備えた内燃機関の制御装置に関する。

20

【背景技術】

【0002】

機関の燃焼温度を低下させて N O_x等の有害排出物を低減するために、機関排気ガスの一部を機関燃焼室に E G R ガスとして還流させる技術が知られている。また、通常リーン空燃比運転を行うディーゼル機関においても比較的多量の E G R ガスを燃焼室に供給することにより、排気ガス中の有害排出物を低減することが可能であることが知られている。

【0003】

ところが、E G R ガスは燃焼に与える影響が大きく、特にディーゼル機関では燃料噴射開始後、噴射された燃料が燃焼を開始するまでの着火遅れ時間に大きな影響を与える。このため、過剰に E G R ガスを燃焼室に供給すると機関の燃焼状態が悪化して機関性能の低下や排気ガス性状の悪化を生じる。

30

一方、E G R ガス量が少ないと有害排出物抑制効果が低下する。このため、E G R ガス量は機関の運転状態に応じて適切な量に制御する必要がある。

【0004】

ところが、従来 E G R ガス量の精密な制御は行われておらず、特にディーゼル機関では、E G R ガス流量を制御する E G R 弁の開度は、機関回転数とアクセル開度（アクセルペダルの踏み込み量）とから定まる値にオープンループ制御するのが通常であった。

【0005】

しかし、近年排気ガス規制の強化や騒音低減に対する要求から、E G R ガス流量についても最適な値に精密に制御する必要性が生じている。このように精密な E G R 制御を行う場合には、従来のように機関回転数とアクセル開度とに基づくオープンループ制御では十分な精度を得ることはできない。また、例えばガソリンエンジンでは、機関排気通路に空燃比センサを配置し、空燃比センサで検出した排気空燃比にもとづいて E G R ガス量を制御することも可能であるが、ディーゼル機関等のように排気空燃比が極めてリーンになる状態で運転される場合がある機関では空燃比センサでの検出精度が低くなるため、空燃比センサで検出した排気空燃比に基づいて E G R ガス量を制御すると誤差が大きくなる問題がある。

40

【0006】

これに対して、機関の燃焼室内圧力を検出し、検出した燃焼圧に基づいて機関の燃焼状

50

態を表す特性値を算出し、この特性値を用いて燃焼状態が最適になるように E G R ガス流量をフィードバック制御する制御装置が提案されている。

【 0 0 0 7 】

このような内燃機関の制御装置の例としては、特許文献 1 に記載されたものがある。

特許文献 1 の装置は、ディーゼル機関に関するものではなく、ガソリンエンジンに関するものであるが、機関の燃焼状態を表す燃焼パラメータとして燃焼室内の熱発生率を用い、熱発生率が所定のパターンになるように E G R ガス流量と燃料噴射時期、燃料噴射量、点火時期などを制御するものである。

【 0 0 0 8 】

すなわち、特許文献 1 の装置は、機関燃焼室内圧力を検出する筒内圧力センサを気筒に配置し、検出した実際の燃焼室内圧力（燃焼圧）とクランク角とに基づいて各クランク角における熱発生率を算出し、熱発生率のクランク角に対する変化パターンが運転条件に応じて予め定めた理想的な変化パターンに一致するように、E G R ガス量、点火時期、燃料噴射時期などをフィードバック制御することにより、最適な燃焼を得るようにしたものである。

【 0 0 0 9 】

【特許文献 1】特開 2 0 0 0 - 5 4 8 8 9 号公報

【特許文献 2】特開平 1 1 - 1 4 8 4 1 0 号公報

【特許文献 3】特開平 3 - 2 3 3 1 6 2 号公報

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【 0 0 1 0 】

上記特許文献 1 の装置では、燃焼に係するパラメータとして熱発生率に着目し、実際の運転状態における熱発生率パターンを算出して、算出した熱発生率パターンが予め定めた理想的な変化パターンに一致するように点火時期、燃料噴射量などをフィードバック制御している。特許文献 1 の装置はガソリン機関に関するものであるが、例えばディーゼル機関においても同様に筒内圧センサを設けることにより、筒内圧センサの出力に基づいて熱発生率のパターンを算出し、算出した熱発生率パターンが所定の熱発生率パターンになるように燃料噴射時期、燃料噴射量をフィードバック制御することも考えられる。

【 0 0 1 1 】

ところが、特許文献 1 の装置では機関の燃焼状態を表すパラメータとして、燃焼室における熱発生率のみを使用して燃焼状態のフィードバック制御を行っている。特許文献 1 の装置では、ガソリン機関が使用されており、ガソリン機関では通常ポート噴射による予混合気の形成が行われ、点火、燃焼などの燃焼パターンも大きくは変化しない。このため、燃焼状態を表すパラメータとして熱発生率のみを用いても大きな誤差は生じない。

【 0 0 1 2 】

しかし、ディーゼル機関では、例えば、E G R ガス量や、燃料噴射時期などにより燃焼パターンが大きく変化する場合があり、熱発生率のみで E G R ガス量や燃料噴射等のフィードバック制御を行うことは必ずしも適切ではない。

【 0 0 1 3 】

また、特許文献 1 の装置のように熱発生率のパターンに基づいて制御を行うためには、例えば、

$$dQ/d\theta = (P \cdot (dV/d\theta) + V(dP/d\theta)) / (\gamma - 1)$$

（P は実際に検出した燃焼室内圧力、V はクランク角から定まる実筒内容積、 γ は比熱比）、の形で熱発生率 $dQ/d\theta$ を P と V の関数として表し、各クランク角毎に上記のような複雑な計算を行うことが必要となる。このため、制御回路の計算負荷が増大してしまう問題が生じる。

【 0 0 1 4 】

また、一般にクランク角の検出はあまり精度が高くないため、上記の熱発生率の計算式のように、クランク角を多用する場合には誤差が生じやすくなる問題がある。このため、

10

20

30

40

50

上記の計算式を用いて算出した熱発生率に基づいてEGRガス量、燃料噴射量、時期などを制御すると制御誤差により、燃焼状態が悪化する場合も生じる。

【0015】

本発明は、上記問題に鑑み、内燃機関のEGR流量や燃料噴射量、燃料噴射時期などを機関の燃焼状態に応じてフィードバック制御することにより機関の性能と排気性状とを改善する場合に、機関の熱発生率の計算を必要とすることなく、制御回路の計算負荷の増大を抑制しつつ、しかも正確に制御を行う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している。

【課題を解決するための手段】

【0016】

10

請求項1に記載の発明によれば、機関燃焼室に燃料を噴射する燃料噴射弁と、機関排気の一部をEGRガスとして機関燃焼室に還流させるEGR装置と、機関燃焼室内の圧力を検出する筒内圧センサとを備えた内燃機関の制御装置であって、更に、前記筒内圧センサで検出した燃焼室内圧力に基づいて、着火遅れ期間と燃焼期間の少なくとも一方を含む燃焼タイミングに対応する燃焼圧特性値を算出する燃焼タイミング算出手段と、前記EGR装置を制御して前記燃焼タイミング算出手段が算出した燃焼タイミングに対応する燃焼圧特性値が予め定めた目標値になるように前記EGRガス量を調節する制御手段と、を備えた内燃機関の制御装置が提供される。

【0017】

すなわち、請求項1の発明では、筒内圧センサで検出した燃焼室内圧力に基づいて、燃焼タイミングに対応する燃焼圧特性値が算出される。ここで、燃焼タイミングは、着火遅れ時間または燃焼期間の一方若しくは両方を含んでいる。

20

また、ここで言う燃焼圧特性値は燃焼室内圧力に基づいて算出される上記着火遅れ期間または燃焼期間の一方または両方に対応した値で、例えば後述する T などのような値である。

【0018】

着火遅れ期間と燃焼期間とは機関のEGR率（気筒に吸入されるガス量中に占めるEGRガスの割合、すなわち（EGRガス量 / （新気量 + EGRガス量）））に密接な対応を示すことが知られている。すなわち、EGR率が増大するにつれて、燃焼が生じにくくなるため、着火遅れ時間は長くなり、また、混合気の燃焼速度は低下するため燃焼期間（すなわち燃焼が開始してから終了するまでの期間）は長くなる。

30

【0019】

本発明は上記に着目し、実際の着火遅れ期間または燃焼期間またはその両方（例えば着火遅れ期間と燃焼期間との合計）が予め求めておいた最適値に一致するようにEGRガス量（EGR率）をフィードバック制御するようにしている。これにより、正確にEGRガス量を最適値に制御することが可能となる。

【0020】

また、実際の機関運転中に着火遅れ期間、燃焼期間等を直接計測することは困難である。そこで、本発明では燃焼室内圧力に基づいて、着火遅れ期間、燃焼期間と対応し、簡易な計算により算出可能な値（燃焼圧特性値）を算出し、この燃焼圧特性値が予め定めた最適値になるようにEGRガス量を制御している。

40

【0021】

これにより、制御回路の計算負荷を増大させることなく簡易に、しかも正確にEGRガス量が最適な値に制御されるようになる。

【0023】

また、請求項1の発明では、燃料噴射開始から、筒内圧センサで検出した燃焼室内圧力 P と、クランク角 から定まる燃焼室容積 V との積 PV の値が最大値 PV_{max} をとるまでの時間 T に基づいてEGRガス量をフィードバック制御する。

【0024】

燃焼圧（筒内圧）から算出される、燃焼状態と関連するパラメータには種々のものがあ

50

るが、燃焼室内圧力 P とシリンダ容積との積 PV の最大値 PV_{max} が生じるタイミングは、気筒の燃焼行程において燃焼が終了した時期に対応している。このため、燃料噴射開始から PV_{max} が生じるまでの時間 T は機関の噴射された燃料が燃焼を開始するまでの時間と、燃焼が開始してから完了するまでの時間、すなわち着火遅れ期間と燃焼期間との合計（以下、「燃焼完了時間」という）に対応する。

【0025】

前述のように、着火遅れ時間と燃焼期間とは機関の EGR 率（気筒に吸入されるガス量中に占める EGR ガスの割合）と密接な対応を示すため、前述の燃焼タイミングに対応する燃焼圧特性値として燃焼完了時間 T を算出し、この T が予め求めておいた最適値に一致するように EGR ガス量（ EGR 率）をフィードバック制御する。これにより、制御回路の演算負荷を増大することなく、しかも正確に EGR ガス量が最適な値に制御される。

10

【0026】

なお、燃焼完了時間 T は時間（ミリ秒）で表しても良いし、クランク回転角（ CA ）で表しても良い。

【0027】

請求項 2 に記載の発明によれば、前記燃焼タイミング算出手段は更に、燃焼室内で燃焼が生じなかったと仮定した場合のピストンの圧縮のみにより生じる燃焼室内圧力とクランク角から定まる燃焼室容積との積 PV_{base} を算出し、前記 PV が最大値 PV_{max} となるクランク角 max における PV_{base} の値を用いて、 PV_{max} と PV_{base} との差 PV_{max} を算出し、前記制御手段は更に、 PV_{max} と前記 max との値がそれぞれ予め定めた目標値になるように前記燃料噴射弁からの燃料噴射量と燃料噴射時期とを制御する、請求項 1 に記載の内燃機関の制御装置が提供される。

20

【0028】

すなわち、請求項 2 の発明では、 T に基づく EGR 制御に加えて PV_{max} と max との値に基づいて燃料噴射量と燃料噴射時期とがフィードバック制御される。

【0029】

燃焼室内圧力 P と燃焼室容積 V との積 PV は燃焼により生じるエネルギーとピストン圧縮によるエネルギーとの和に対応する値となり、従ってその最大値 PV_{max} からピストン圧縮のみによる PV 値（ PV_{base} ）を引いた値である PV_{max} は燃焼室に供給された燃料の量、すなわち燃料噴射量に対応した値となる。

30

【0030】

また、 max は燃焼室内の燃焼が終了した時点に対応した値であるので、他の条件（例えば EGR など）が一定であれば燃料噴射時期に応じて変化する。

【0031】

このため、例えば PV_{max} が予め定めた目標値になるように燃料噴射量を、また、 max が予め定めた目標値になるように燃料噴射時期を、それぞれフィードバック制御することにより、 EGR ガス量に加えて、制御回路の演算負荷を増大させることなく、燃料噴射量、燃料噴射時期をも正確に制御することが可能となる。

【0032】

40

請求項 3 に記載の発明によれば、前記目標値は、機関回転数とアクセル開度とに応じて定められる、請求項 1 または請求項 2 に記載の内燃機関の制御装置が提供される。

【0033】

すなわち、請求項 3 の発明では前述の T 、 PV_{max} 、 max 等の燃焼圧特性値の目標値は、アクセル開度（アクセルペダルの操作量、すなわち運転者によるアクセルペダルの踏み込み量を「アクセル開度」と称する）と機関回転数とに応じて定められる。

【0034】

一般に、アクセル開度と機関回転数とは機関の運転状態を表す値として使用される。各燃焼圧特性値の目標値をアクセル開度と機関回転数とに応じて設定することにより、機関の運転状態毎に最適な燃焼状態を与える EGR ガス量、燃料噴射量、燃料噴射時期を簡易

50

に設定することができる。

【 0 0 3 5 】

請求項 4 に記載の発明によれば、前記内燃機関は、圧縮着火機関である請求項 3 に記載の内燃機関の制御装置が提供される。

【 0 0 3 6 】

すなわち、請求項 4 では内燃機関として圧縮着火機関が使用される。請求項 1 または 2 のいずれかの制御を圧縮着火機関に適用することにより、圧縮着火機関における E G R ガス量の制御を正確に行うことが可能となる。

【 0 0 3 7 】

請求項 5 に記載の発明によれば、前記制御手段は更に前記機関を、圧縮行程後期に燃料噴射を行い空気過剰率の大きい燃焼を行う通常燃焼モードと、通常燃焼モードより燃料噴射時期を進角し、かつ E G R ガス量を増大した低温燃焼モードとを切り換えて運転するとともに、前記 T の値に基づく E G R ガス量制御を機関の前記低温燃焼モード運転時に行う、請求項 4 に記載の内燃機関の制御装置が提供される。

10

【 0 0 3 8 】

すなわち、請求項 5 の発明では、通常燃焼モードと低温燃焼モードとを切り換えて運転する機関が使用され、低温燃焼モード運転時に燃焼圧特性値 T を用いた E G R ガス量制御がおこなわれる。

【 0 0 3 9 】

低温燃焼モードは、燃料噴射時期を大幅に進角して気筒内に予混合気を形成するとともに、E G R ガス量を大幅に増大して空燃比の低い燃焼を行うことにより、燃焼温度を低下させることにより排気中の煤と NO_x との両方を大幅に低下させる燃焼モードである。

20

【 0 0 4 0 】

しかし、低温燃焼モードでは大量の E G R ガスが燃焼室に供給されるため、E G R ガス量 (E G R 率) のわずかな変化でも燃焼状態が急激に悪化するような場合があり、E G R ガス量の変化に対する燃焼状態変化の感度が高くなる。

【 0 0 4 1 】

前述のように、燃焼圧特性値 T を用いた E G R ガス量のフィードバック制御を行うことにより極めて正確に E G R ガス量を最適値に制御することができる。このため、T を用いた E G R ガス量制御を行うことにより、E G R ガス量の変化に対する感度が高い低温燃焼モードにおいても容易に適切な燃焼状態を達成することが可能となる。

30

【発明の効果】

【 0 0 6 2 】

各請求項に記載の発明によれば、内燃機関の E G R 流量を機関の燃焼状態に応じてフィードバック制御する場合に、着火遅れ期間と燃焼期間、或いはこれらと密接な相関がある燃焼圧特性値を用い、これらの燃焼圧特性値が予め定めた目標値になるように E G R ガス量を制御することにより、制御回路の計算負荷の増大を抑制しつつ、しかも簡易かつ正確に制御を行うことが可能となる共通の効果を奏する。

【発明を実施するための最良の形態】

【 0 0 6 3 】

40

以下、添付図面を用いて本発明の実施形態について説明する。

図 1 は、本発明の燃料噴射装置を自動車用ディーゼル機関に適用した場合の実施形態の概略構成を示す図である。

【 0 0 6 4 】

図 1 において、1 は内燃機関 (本実施形態では # 1 から # 4 の 4 つの気筒を備えた 4 気筒 4 サイクルディーゼル機関が使用される)、10 a から 10 d は機関 1 の # 1 から # 4 の各気筒燃焼室に直接燃料を噴射する燃料噴射弁を示している。燃料噴射弁 10 a から 10 d は、それぞれ燃料通路 (高圧燃料配管) を介して共通の蓄圧室 (コモンレール) 3 に接続されている。コモンレール 3 は、高圧燃料噴射ポンプ 5 から供給される加圧燃料を貯留し、貯留した高圧燃料を高圧燃料配管を介して各燃料噴射弁 10 a から 10 d に分配す

50

る機能を有する。

【0065】

本実施形態では、機関の排気ガスの一部を機関の各気筒燃焼室に還流させるEGR装置が設けられている。EGR装置は、機関の排気通路と機関の吸気通路または各気筒の吸気ポートとを接続するEGR通路33と、このEGR通路に配置され、排気通路から吸気通路へ還流する排気ガス(EGRガス)流量を制御する流量制御弁としての機能を有するEGR弁35とを備えている。EGR弁35は、ステッパモータ等の適宜な形式のアクチュエータ35aを備えており、後述するECU20からの制御信号に応じてEGR弁開度が制御される。

【0066】

図1に20で示すのは、機関の制御を行う電子制御ユニット(ECU)である。ECU20は、リードオンリメモリ(ROM)、ランダムアクセスメモリ(RAM)、マイクロプロセッサ(CPU)、入出力ポートを双方向バスで接続した公知のマイクロコンピュータとして構成されている。ECU20は、本実施形態では、燃料ポンプ5の吐出量を制御してコモンレール3圧力を機関運転条件に応じて定まる目標値に制御する燃料圧制御を行っている他、機関運転状態に応じて燃料噴射の噴射時期及び噴射量を制御するとともに、後述する筒内圧センサ出力に基づいて求めた燃焼圧特性値を用いてEGR流量、燃料噴射量、噴射時期等の燃料噴射パラメータをフィードバック制御する燃料噴射制御等の機関の基本制御を行う。

【0067】

これらの制御を行なうために、本実施形態ではコモンレール3にはコモンレール内燃料圧を検出する燃料圧センサ27が設けられている他、機関1のアクセルペダル(図示せず)近傍にはアクセル開度(運転者のアクセルペダル踏み込み量)を検出するアクセル開度センサ21が設けられている。

【0068】

図1に23で示すのは機関1のカム軸の回転位相を検出するカム角センサ、25で示すのはクランク軸の回転位相を検出するクランク角センサである。カム角センサ23は、機関1のカム軸近傍に配置され、クランク回転角度に換算して720度毎に基準パルスを出力する。また、クランク角センサ25は、機関1のクランク軸近傍に配置され所定クランク回転角毎(例えば15度毎)にクランク角パルスを発生する。

【0069】

カム角センサ23とクランク角センサ25とのパルス信号はECU20に供給され、クランク軸回転位相角と機関回転数との算出に使用される。

【0070】

また、図1に29aから29dで示すのは、各気筒10aから10dに配置され、気筒燃焼室内の圧力を検出する公知の形式の筒内圧センサである。筒内圧センサ29aから29dで検出された各燃焼室内圧力は、ADコンバータ30を経てECU20に供給される。

【0071】

ECU20は、筒内圧センサ29aから29dで検出した気筒燃焼室内圧力に基づいて後述する燃焼圧特性値を算出し、この燃焼圧特性値に基づいてEGRガス量、燃料噴射量、燃料噴射時期等をフィードバック制御する。

【0072】

以下、本実施形態における燃焼圧特性値に基づくEGRガス量や燃料噴射量と燃料噴射時期のフィードバック制御詳細について説明する。

【0073】

本実施形態では、筒内圧センサ29aから29dで検出した燃焼室内圧力に基づいて算出する燃焼圧特性値として、 P_{Vmax} 、 P_{max} 、 P_{Vmax} 及び T を用いてEGRガス量、燃料噴射量、燃料噴射時期のフィードバック制御を行う。

【0074】

図 2 は、本実施形態で使用する燃焼圧特性値、 $P V_{max}$ 、 θ_{max} 、 $P V_{max}$ 及び T を示している。

【0075】

図 2 横軸は、気筒の圧縮行程から膨張行程にかけてのクランク角 (CA) を、縦軸は後述する $P V$ 値を、それぞれ示している。横軸に TDC で示すのは圧縮上死点である。

【0076】

本実施形態における $P V$ 値は、筒内圧センサ 29a から 29d で検出した各クランク角における燃焼室内圧力と、そのクランク角における燃焼室容積 (クランク角の関数として与えられる) V との積 ($P V = P \times V$) として定義される。

【0077】

図 2 の実線は、実際の燃焼時における $P V$ 値の変化を示している。図 2 に示すように、 $P V$ 値は燃焼開始とともに急激に増大し、最大値 $P V_{max}$ に到達した後急激に低下する。

【0078】

$P V$ 値は圧力と体積との積であるため、気体の状態方程式 $P V = M R T$ の関係 (M : 気体のモル数、 R : 一般ガス定数 ($J / mol \cdot K$)、 T : 温度 ($^{\circ}K$)) より、筒内温度に相当する値となる。また、実験から $P V$ が最大値 $P V_{max}$ となるタイミング (図 2、 θ_{max}) は筒内で噴射された燃料の燃焼が終了した時点 (厳密には 90 パーセントの燃料が燃焼した時点) に対応することが確認されている。このため、 θ_{max} は筒内での燃

焼終了時を表す指標として用いることができる。

【0079】

図 2 において、 θ_{inj} は燃料噴射弁 (10a から 10d、以下参照符号 10 で総称する) からの燃料噴射開始時期を示す。また、図 2 に T で示すのは、燃料噴射開始 (θ_{inj}) から燃焼終了時 (θ_{max}) までの時間 (クランク角) で定義される燃焼完了時間である。燃料噴射弁 10 から噴射された燃料はある着火遅れ時間経過後に燃焼を開始し、種々の条件によって定まる燃焼時間経過後に燃焼が終了する。このため、燃焼完了時間 T ($= \theta_{max} - \theta_{inj}$) は、燃料の着火遅れ時間と燃焼時間との合計に対応している。

【0080】

また、図 2 において点線で示すのは、気筒内で燃焼が生じなかった場合の $P V$ 値の変化 ($P V_{base}$) を表す。 $P V_{base}$ は、ピストンの上下動のみによる筒内の気体の圧縮と膨張とを表すため、上死点に対して対称な曲線となる。

【0081】

本実施形態では、前述の $P V$ 値の最大値 $P V_{max}$ と、 θ_{max} における $P V_{base}$ 値との差を $P V_{max}$ として定義している。

【0082】

θ_{max} における $P V_{base}$ の値は、吸気行程終了時における筒内圧と θ_{max} における筒内容積とから容易に算出することができる。しかし、前述したように、 $P V_{base}$ 曲線は圧縮上死点に対して対称になる。このため、本実施形態では、 θ_{max} 検出後、上死点に対して対称となる圧縮行程の点 (図 2 に θ_{max} で示す) における $P V_{base}$ の値を使用して $P V_{max}$ を算出するが、実際には燃焼が生じる前の圧縮行程では $P V$ 値と $P V_{base}$ 値とは同一となる。このため、本実施形態では実際には θ_{max} における $P V$ 値を θ_{max} における $P V_{base}$ 値として使用することにより、簡易に $P V_{max}$ の値を算出している。

【0083】

次に、燃焼圧特性値 T 、 $P V_{max}$ 、 θ_{max} 及び $P V_{max}$ の有する意味について説明する。

【0084】

前述したように、燃料噴射開始から θ_{max} までの期間である燃焼完了時間 T は、噴射された燃料の着火遅れ時間と燃焼時間との合計に対応している。一方、着火遅れ時間と

10

20

30

40

50

燃焼時間とは、ともに EGR 率（筒内に吸入されるガスに占める EGR ガス量の割合）の影響を大きく受け、EGR 率が大きくなるにつれて T も増大する。このため、燃焼完了時間 T は筒内 EGR 率と密接な相関を有しており、EGR 率を表す指標として使用することができる。

【0085】

また、P V max が生じる時期 max は燃焼の終了時期に相関があり、筒内の燃焼状態に大きく関係する。また、他の条件が同一であれば燃焼の終了時期は燃料噴射時期に応じて変化する。

【0086】

更に、P V max の値は、燃焼時と燃焼が生じなかった時の P V 値の差（温度差）であるため、燃焼室内で燃焼した燃料の量、すなわち燃料噴射量と相関がある。

10

【0087】

本実施形態では、上記に着目し、T、max、P V max を用いて、EGR ガス量、燃料噴射時期、燃料噴射量を最適値にフィードバック制御する。

【0088】

すなわち、本実施形態では予め機関の運転状態（アクセル開度と回転数との組み合わせ）を変えて機関を運転し、燃費、排気ガス性状等の点で最適な燃焼状態を得られる燃料噴射量、燃料噴射時期、EGR 率（EGR 弁開度）を探し、これらの値をそれぞれの運転状態における燃料噴射量、燃料噴射時期、EGR 弁開度の基準値として、アクセル開度と回転数とを用いた 2 次元数値マップの形（以下、便宜的に「基準噴射条件マップ」と呼ぶ）で ECU 20 の ROM に格納してある。

20

【0089】

また、本実施形態では上記各運転状態において最適な燃焼状態が得られた時の燃焼圧特性値 T、max 及び P V max の値を算出し、アクセル開度と回転数とを用いた 2 次元数値マップ（以下、便宜的に「目標特性値マップ」と呼ぶ）の形で ECU 20 の ROM に格納してある。

【0090】

実際の運転では、ECU 20 はまず機関回転数とアクセル開度とから上記基準噴射条件マップを用いて燃料噴射量、燃料噴射時期、EGR 弁開度を求め、燃料噴射量、燃料噴射時期、EGR 弁開度を基準噴射条件マップ値に制御する。

30

【0091】

そして、この状態で筒内圧センサ 29 a から 29 d の圧力に基づいて、各気筒の T、max、P V max の燃焼圧特性値を算出する。そして、現在のアクセル開度と回転数とを用いて前述の目標特性値マップから、最適燃焼状態における燃焼圧特性値の目標値 T、max、P V max を求め、実際の燃焼圧特性値がこれらの目標値に一致するように、基準噴射条件マップから定まる燃料噴射量、燃料噴射時期、EGR 弁開度等を調整する。

【0092】

具体的には、ECU 20 は EGR 弁 35 の開度を調節して実際の燃焼圧特性値 T が目標値になるようにフィードバック制御するとともに、max と P V max とがそれぞれの目標値に一致するように燃料噴射時期と燃料噴射量とをフィードバック制御する。

40

【0093】

これにより、実際の燃焼状態が最適な状態になるように、EGR 及び燃料噴射が制御される。

【0094】

図 3、図 4 は、上記燃焼圧特性に基づく制御操作（燃焼圧特性値制御操作）を具体的に説明するフローチャートである。図 3、図 4 の操作はそれぞれ、ECU 20 により一定時間毎に実行されるルーチンとして行われる。

【0095】

図 3 は、燃料噴射と EGR との基本制御操作を示している。図 3 の操作では ECU 20

50

は燃料噴射量、燃料噴射時期、及びEGR弁35開度を、それぞれ機関回転数NEとアクセル開度ACCPとから定まる基準値と、図4の操作から燃焼圧特性値に基づいて定まる補正量との和として設定する。

【0096】

図3において、ステップ301ではアクセル開度ACCPと機関回転数NEとが読み込まれ、ステップ303では予めECU20のROMにそれぞれACCPとNEとを用いた2次元数値マップの形で格納された前述の基準噴射条件マップから、ステップ301で読み込んだACCPとNEとの値を用いて、基準燃料噴射量 FI_0 、基準燃料噴射時期 I_0 、基準EGR弁開度 EGV_0 が読み出される。

【0097】

基準燃料噴射量、基準燃料噴射時期、基準EGR弁開度は、予め実際に機関を運転して求めた、最適な燃焼状態が得られる燃料噴射量、燃料噴射時期、EGR弁開度である。

【0098】

上記基準値は、実験時の環境において最適な燃焼状態を得ることができる燃料噴射量、時期、EGR弁開度であるが、実際の運転においては燃料の相違や、機関運転環境（気温、大気圧等）の相違、機器類のばらつきや特性変化等があるため、上記基準値を用いて運転しても最適な燃焼状態を得ることができるとは限らない。

【0099】

そこで、本実施形態では、上記により求めた基準値 FI_0 、 I_0 、 EGV_0 に補正量、 ΔFI 、 ΔI 、 ΔEGV を加えて補正した値を実際の燃料噴射量、燃料噴射時期、EGR弁開度として設定する。すなわち、ステップ305では、実際の燃料噴射量 FI 、燃料噴射時期 I 、EGR弁開度 EGV が、 $FI = FI_0 + \Delta FI$ 、 $I = I_0 + \Delta I$ 、 $EGV = EGV_0 + \Delta EGV$ として設定され、ステップ307では、ステップ305で設定された値で燃料噴射及びEGR弁開度制御が行われる。

【0100】

ここで、 ΔFI 、 ΔI 、 ΔEGV は図4の操作により燃焼圧特性値に基づいて設定されるフィードバック補正量である。

【0101】

図4の操作について説明すると、まずステップ401ではアクセル開度ACCPと機関回転数NEとが読み込まれる。そして、ステップ403では、予めECU20のROMに格納された、ACCPとNEとを用いた2次元マップから max_PVM 、 T_0 の目標値 max_PVM_0 、 T_0 が読み出される。目標値 max_PVM_0 、 T_0 は、それぞれのアクセル開度、回転数において最適な燃焼が得られたときの max_PVM 、 T の値である。

【0102】

そして、ステップ405では、筒内圧センサ29a～29dの出力に基づいて各気筒の max_PVM 、 T の燃焼圧特性値が算出される。

【0103】

そして、ステップ407から411ではステップ405で算出した実際の燃焼圧特性値の値がステップ403でマップから求めた目標値に一致するように補正量 ΔPVM 、 ΔT がフィードバック制御される。

【0104】

すなわち、ステップ407ではまず、実際の PVM の値が目標値 PVM_0 に一致するように燃料噴射量の補正量 ΔFI がフィードバック制御され、ステップ409では実際の max_PVM の値が目標値 max_PVM_0 に一致するように燃料噴射時期の補正量 ΔI がフィードバック制御され、そして、ステップ411では実際の T の値が目標値 T_0 に一致するようにEGR弁開度の補正量 ΔEGV がフィードバック制御される。ステップ407から411におけるフィードバック制御は、例えば、それぞれの目標値からの実際の値の偏差に基づくPID制御とされる。

【0105】

10

20

30

40

50

例えば、本実施形態におけるPID制御を燃料噴射時期の補正量を例にとって具体的に説明すると、実際の max の値と目標値 max_0 との偏差をとすると、補正量は以下の式を用いて算出される。

【0106】

$$= K_1 \times \text{偏差} + K_2 \times \int \text{偏差} dt + K_3 \times (\text{偏差} - \text{偏差}_{i-1})$$

ここで、右辺第1項 $K_1 \times \text{偏差}$ は比例項、第2項 $K_2 \times \int \text{偏差} dt$ は積分項であり、 $\int \text{偏差} dt$ は、偏差の積算値（積分値）を表す。また、第3項 $K_3 \times (\text{偏差} - \text{偏差}_{i-1})$ は微分項であり、 $(\text{偏差} - \text{偏差}_{i-1})$ は偏差の前回からの変化量（微分値）を表している（ 偏差_{i-1} は前回の偏差の値）。また、 K_1 、 K_2 、 K_3 は定数である。

【0107】

10

上記のように、図3と図4との操作を繰り返すことにより、実際の燃料噴射量、燃料噴射時期及びEGR弁開度（EGR率）は、燃焼圧特性値が目標値に一致するように制御される。

【0108】

このように、実際の運転における燃焼圧特性値が目標値に一致するように燃料噴射量、燃料噴射時期、EGR率をフィードバック制御することにより、例えば、機関の運転環境の相違や機器の特性変化やばらつき、燃料の相違などを個別に考慮することなく、容易に最適な燃焼状態を得ることができる。

【0109】

なお、図3、図4の操作では燃料噴射量、時期等をまず基準値に制御して、この基準値に対する補正量を燃焼圧特性値を用いてフィードバック制御することにより、燃料噴射量等が最適な燃焼状態を与える値に短時間で収束するようにしている。しかし、燃料噴射量などの基準値を予め設定することなく燃料噴射量、時期、EGR率そのものを燃焼圧特性値を用いてフィードバック制御するようにすることも可能である。

20

【0110】

ところで、図3、図4のように燃料噴射時期 I を max と max_0 との偏差に基づいて制御する場合、特に、後述する低温燃焼モードでの運転時などのように燃料噴射時期の目標値自体が大幅に進角されているような場合には、制御が発散する可能性がある。

【0111】

30

例えば、実際の max の値が目標値 max_0 より遅れるような場合には、 max を早めるために燃料噴射時期 I は進角される。ところが、低温燃焼時のように燃料噴射時期が既に大幅に進角設定されているような場合には、過度に燃料噴射時期を進角すると、燃焼が不安定になり失火が生じやすくなるため、燃料噴射時期を進角するとかえって max が遅く生じるようになる場合がある。

【0112】

このような場合に、 max を用いて燃料噴射時期を制御していると、燃料噴射時期は更に進角されてしまい、制御が発散するのみならず、例えば過度の燃料噴射進角により、気筒内でピストンが十分に上昇していない位置で燃料噴射が行われ、噴射された燃料がピストン上に形成された凹部（ボウル）内から外にあふれたり、或いは噴射された燃料が直接シリンダ壁に当たるような場合（ポアフラッシング）が生じ、シリンダ壁に液状燃料が付着するために潤滑油の希釈や燃費及び排気性状の悪化を生じる問題がある。

40

【0113】

特に、図4ステップ411のように同時に T を用いてEGRガス量を制御しているような場合には、燃料噴射時期が過度に進角されると T の値も過大になりEGRガス量は大幅に低減されるため、燃料噴射時期の変化とEGRガス量の増減とが互いに影響しあって制御が安定しなくなる場合が生じる。

【0114】

そこで、本実施形態では図3、ステップ305で算出された燃料噴射時期 I に対して進角ガード値 I_{max} を設け、燃料噴射時期が I_{max} 以上に進角しないようにして

50

いる。

【0115】

具体的には、図3ステップ305で、燃料噴射時期 I が、 $I = I_0 +$ として算出されると、ECU30は算出された I と進角ガード値 I_{max} とを比較し、 I が I_{max} 以上に進角設定されている場合 ($I > I_{max}$) には、算出された I の代わりに I_{max} を用いてステップ307で燃料噴射制御を実行する。すなわち、ステップ305で算出された I の値は進角ガード値 I_{max} より遅角側 ($I < I_{max}$) にある場合にのみステップ307で使用するようにする。

【0116】

これにより、燃焼圧特性値 max を用いた燃料噴射時期のフィードバック制御において過度の進角が防止されるため、ボアフラッシングによる潤滑油の希釈や燃費、排気性状の悪化が防止されるとともに、過進角による燃料噴射時期制御の発散や、 T を用いたEGRガス量のフィードバック制御との干渉が防止され、燃料噴射時期やEGRガス量が目標値に短時間で収束するようになる。

10

【0117】

なお、燃料噴射時期の進角ガード値 I_{max} は、燃料噴射弁から噴射された燃料がピストンのボウル内から外にあふれたり、壁面に付着したりすることがない時期であり、機関回転数と燃料噴射圧力等の噴射条件により定まる値となる。この値は、ピストン形状や燃料噴射弁の配置、機関回転数、噴射圧力など種々の条件により異なってくるため、実際の機関を用いた実験に基づいて、回転数(燃料噴射圧力)毎に数値マップとして作成しておくことが好ましい。

20

【0118】

次に本発明の別の実施形態について説明する。

本実施形態では、機関1は通常のディーゼル燃焼モード、すなわち圧縮行程終期に燃料噴射を行い、空燃比の高い拡散燃焼を行う燃焼モードと、低温燃焼モード、すなわち、燃料噴射時期を大幅に進角して気筒内に予混合気を形成するとともに、EGRガス量を大幅に増大して空燃比の低い燃焼を行う燃焼モードとの2つの燃焼モードを切り換えて運転する。低温燃焼では、空燃比が比較的低い燃焼でありながら大量のEGRガスを燃焼室に供給することにより NO_x などの有害物質の生成を大幅に抑制し、更にディーゼル機関でありながら予混合燃焼を行うことにより、煤の発生量を大幅に低減することができる。

30

【0119】

ところが、低温燃焼モードでの運転では燃焼状態の変化はEGR率の変化に対する感度が極めて大きく、EGR率が少し変化しただけで燃焼状態が大幅に悪化するようなケースも生じる。

【0120】

そこで、本実施形態では、機関が低温燃焼モードで運転されているときに、EGR率(EGR弁開度)を燃焼圧特性値に基づいてフィードバック制御するようにしている。

【0121】

図5は、本実施形態の燃焼圧特性値に基づくEGR率制御操作を説明するフローチャートである。本操作は、ECU20により一定時間毎に実行されるルーチンとして行われる。

40

【0122】

図5の操作では、まずステップ501で現在機関が低温燃焼モードで運転されているか否かが判定され、低温燃焼モードで運転されていないときにはステップ503以下を実行することなく直ちに本操作を終了する。この場合には、例えばEGR率は従来と同様なアクセル開度と機関回転数とに基づくオープンループ制御により制御される。

【0123】

ステップ501で現在低温燃焼モードで機関が運転されている場合には、次にステップ503に進み、現在のアクセル開度 $ACCP$ と機関回転数 NE とをそれぞれ対応するセンサーから読み込んで、ステップ505では予めECU20のROMに $ACCP$ と NE との

50

2次元数値マップの形で格納した燃焼完了時間 T の目標値マップから、現在の $ACC P$ と NE とにおける T の目標値 T_0 を読み出す。

【0124】

ここで、 T_0 は、低温燃焼モードにおいて最適な燃焼状態が得られる EGR 率で EGR ガスを供給した場合の燃焼完了時間である。

【0125】

次いで、ステップ507では、筒内圧センサ29a～29dの出力に基づいて現在の実際の燃焼完了時間 T が算出される。そして、ステップ509では、実際の燃焼完了時間 T が目標値 T_0 に一致するように EGR 弁開度がフィードバック制御される。このフィードバック制御は、図4の場合と同様、例えば目標値 T_0 と実際値 T との偏差に基づき $PI D$ 制御とされる。

10

【0126】

なお、本実施形態では燃料噴射量と燃料噴射時期とは、別途 $ECU 20$ により実行されるルーチンにより、予め低温燃焼モードでの運転に最適な値に設定されてる。

【0127】

図5のように、特に EGR 率の変化に敏感な低温燃焼モードでの運転時に、燃焼圧特性値 T に基づいて機関の EGR 率を制御することにより、低温燃焼時にも安定した最適な燃焼状態を得ることができる。

【0128】

ところで、上記のように低温燃焼モードに移行後は T に基づく制御により最適な EGR 率を得ることができるが、通常燃焼モードから低温燃焼モードへの移行の際には、 T に基づくフィードバック制御により EGR ガス量を調節していると、低温燃焼モード移行時の EGR 率が過度に変化して燃焼が不安定になる場合がある。

20

【0129】

前述したように、低温燃焼モードでは通常燃焼モードに較べて燃料噴射時期が大幅に進角される。ところが、低温燃焼モードへの移行時に一挙に燃料噴射時期を進角させると燃焼状態の急変により機関出力トルクが変動し、いわゆるトルクショックが生じる問題がある。このため、通常燃焼モードから低温燃焼モードへの移行時には一定の移行期間を設け、この移行期間（時間）内に燃料噴射時期を通常燃焼モードでの値から低温燃焼モードでの目標値まで比較的緩やかに連続的に変化させる、移行処理（なまし処理）が行われる。

30

【0130】

従って、移行処理中は T 算出に用いる燃料噴射時期（図2、 inj ）は徐々に変化（進角）し、それに応じて $PVmax$ が生じる時期（図2、 max ）も徐々に変化（進角）するため、切り換え開始時には T の値は切り換え前の値からあまり大きく変化せず、比較的小さい値となる。

【0131】

一方、低温燃焼モード移行後に EGR 率を早期に目標値に収束させるために、低温燃焼モードへの移行期間中にも T や max を用いて EGR 弁開度や噴射時期のフィードバック制御を行おうとすると、移行期間初期は実際の燃料噴射時期に基づいて算出される T の値は目標値 T_0 に較べてかなり小さくなるため、 T を増大させる方向に制御が行われてしまい、新気量が必要以上に低減されるようになって燃焼が不安定になる場合がある。

40

【0132】

そこで、本実施形態では移行期間中は T を算出する際に実際の燃料噴射時期を使用せず、低温燃焼への移行完了後の目標燃料噴射時期を使用するようにしている。これにより、移行期間開始時には実際の燃料噴射時期を用いた場合より T の値は大きくなり目標値 T との偏差も小さくなる。本実施形態では EGR 弁開度を T と T 目標値との偏差に基づいてフィードバック制御しているため、これにより EGR 率が過度に増大されることが防止され、低温燃焼モードへの移行期間中も EGR 率を適正に維持することが可能となる。

50

【0133】

図6は、本実施形態における通常燃焼モードから低温燃焼モードへの切り換えの移行期間における T 変化を説明する図である。

【0134】

図6において、カーブ $i n j$ は燃料噴射時期の変化を、カーブ $m a x$ は $P V m a x$ が生じる時期の変化をそれぞれ表しており、実際の T (実 T) は、この2本のカーブの距離に等しくなる(図6参照)。

【0135】

図6において、通常燃焼モードから切り換えの移行期間が開始されると、燃料噴射時期 $i n j$ は連続的に進角され、移行期間終了時には低温燃焼モードにおける目標燃料噴射時期になる。

10

【0136】

この場合、図6に示すように $i n j$ は移行開始ににも大きく変化しないため、実際の燃料噴射時期を用いた T (実 T) は移行期間開始時には比較的小さな値となり、目標値 T_0 との差が比較的大きくなり移行期間初期には $E G R$ ガス量を大幅に増大する方向に制御が進み、 $E G R$ 率が過大になる問題が生じる。このため、低温燃焼モードへの移行期間中に T に基づいて $E G R$ ガス量を制御すると、燃焼が不安定になり極端な場合には失火が生じる場合がある。

【0137】

これに対して、実際の燃料噴射時期に代えて低温燃焼モード切り換え後の燃料噴射時期目標値を使用して算出した T は、図6に示すように実 T に較べて大きな値になり、 T の目標値との差が小さくなる。従って、本実施形態では $E G R$ 率が急激に増大されることが防止され、噴射時期の進角に応じて徐々に $E G R$ 率が増大するようになる。

20

【0138】

これにより、本実施形態では通常燃焼モードから低温燃焼モードへの切り換え時に燃焼の不安定や失火などが生じることを防止しつつ短時間で $E G R$ 率を切り換え後の目標値に収束させることが可能となる。

【0139】

次に、図7を用いて上記とは逆の低温燃焼モードから通常燃焼モードへの切替時の制御について説明する。

30

【0140】

例えば、燃焼圧特性値を用いた燃料噴射量、燃料噴射時期、 $E G R$ 率などの制御を低温燃焼モード運転中のみ行い、通常燃焼モード時には従来のオープンループ制御を行うような場合について考える。

【0141】

この場合、低温燃焼モード運転時には燃料噴射量、燃料噴射時期、 $E G R$ ガス量などは燃焼圧特性値 (T 、 $m a x$ 、 $P V m a x$ 等) に基づいてフィードバック制御されており、実際の燃料噴射量、燃料噴射時期、 $E G R$ ガス量などはフィードバック補正量を含んだものとなっている。

40

【0142】

例えば燃料噴射時期を例にとって説明すると、図3ステップ305で説明したように、低温燃焼中の実際の燃料噴射時期は、目標値 I_0 にフィードバック補正量を加えた量となっている。

【0143】

通常、図7に示すように、低温燃焼モードから通常燃焼モードへの切り換え時にも図6で説明したと同様な移行期間が設けられており、燃料噴射時期の目標値は低温燃焼モード時のものから通常燃焼モード時の目標値に移行期間内に連続的に変化するようにされている。

【0144】

ところが、上述のように低温燃焼モードでの実際の燃料噴射時期はフィードバック補正

50

量を含んだものであり、通常燃焼モードでの燃料噴射時期はフィードバック補正量を含まない目標燃料噴射時期（オープンループ制御）である。このため、どの時点でフィードバック制御を停止して、フィードバック補正量を0にするかが問題となる。例えば、移行期間開始とともに直ちにフィードバック制御を停止すると移行期間開始と同時に燃料噴射時期はフィードバック補正量だけ急激に変化することになり、燃料噴射時期の急変によるトルク変動が生じる可能性がある。これは、移行期間中もフィードバック制御を継続し、移行完了とともにフィードバック制御を停止した場合も同様である。

【0145】

そこで、本実施形態では図7に示すように、移行期間開始と同時にフィードバック制御は停止するものの、移行期間開始時のフィードバック補正量は直ち0にせず、移行期間終了時に0になるように徐々に連続的にフィードバック補正を減少させるようにしている。

10

【0146】

図7において、点線は燃料噴射時期の目標値 I_0 を、実線は実際の燃料噴射時期 I を示している。図に示すように、低温燃焼モード運転では、燃焼特性値 m_{ax} に基づくフィードバック制御が行われており、目標値 I_0 と実際の燃料噴射時期 I との間にはフィードバック補正量だけ差が生じている。

【0147】

移行期間が開始されると、本実施形態では直ちにフィードバック制御は停止するものの、移行開始時には実際の燃料噴射時期 I は移行期間開始時のフィードバック補正量を含んだ値のままに維持される。このため、本実施形態では移行期間開始時のフィードバック制御停止による燃料噴射時期の急変が防止される。

20

【0148】

そして、図7に示すように、移行期間中の値は移行期間終了時に0となるように連続的に低減される（例えば、の値を移行期間開始後の時間経過に比例して減少させる）。これにより、移行期間中に実際の燃料噴射時期 I は徐々に目標燃料噴射時期 I_0 に近づき、移行期間終了時には I_0 と一致するようになる。これにより、本実施形態ではトルク変動を生じることなく低温燃焼モード中の燃料噴射時期のフィードバック制御から通常燃焼モードでのオープンループ制御に移行することが可能となっている。

【0149】

なお、図7は燃料噴射時期を例にとって説明したが、燃料噴射量、或いはEGRガス量についても同様な移行制御を行うことができることは言うまでもない。

30

【0150】

次に、上記の燃焼圧特性値を用いたEGR制御の別の応用例について説明する。上記の各実施形態では、燃焼圧特性値 T を用いてEGR率を正確に制御し、低温燃焼時にも燃焼に最適なEGR率を得ることを可能としている。

【0151】

例えば、機関排気通路に流入する排気の空燃比がリーンのときに排気中の NO_x を吸収、吸着またはその両方で吸蔵し、流入する排気の空燃比がリッチになったときに、排気中のCO等の還元成分やHC等を用いて吸蔵した NO_x を還元浄化する公知の NO_x 吸蔵還元触媒を設けて排気浄化を行う場合などには、上記 NO_x 吸蔵還元触媒に吸蔵された NO_x の還元浄化時などには、排気空燃比（機関空燃比）を正確に制御する必要が生じる。ところが、上記の制御では応答性良好に最適なEGR率を得ることはできるものの、機関の燃焼空燃比（排気空燃比）を正確に制御することができるとは限らない。

40

【0152】

例えば、燃料噴射弁の噴射特性が内部機構の摩耗などにより変化した場合、或いは噴射特性の製品毎のばらつきがある場合などは、燃焼圧特性値を目標値に制御しても必ずしも目標空燃比が得られているとは限らない。

【0153】

一方、排気空燃比を目標空燃比に制御するためには、排気通路に空燃比センサを配置し

50

て、直接排気空燃比を計測することにより、排気空燃比が目標値になるように EGR 制御弁をフィードバック制御することも可能である。

【0154】

しかし、空燃比センサを用いた EGR 制御は排気ガスのセンサ取付位置までのガス輸送遅れや、センサ自体の応答遅れがあるため過渡運転時などのように機関運転条件が変化するような場合には必ずしも精度良く EGR ガス量を制御することばできない。

【0155】

そこで、本実施形態では燃焼圧特性値を用いた EGR フィードバック制御に、更に空燃比センサ出力に基づくフィードバック学習制御を組み合わせる事により、過渡運転時を含めて応答性良く EGR ガス量を制御し、排気空燃比を高精度で制御することを可能としている。

10

【0156】

すなわち、本実施形態では例えば、図5のフィードバック制御により T が目標値 T_0 に一致するように制御されている状態で、所定の学習制御条件（例えば、機関が定常状態で運転されていることなど）が満たされた場合に、排気通路に配置した空燃比センサで検出した排気空燃比が、アクセル開度 ACCP、機関回転数 NE とから定まる目標空燃比に一致するように燃焼完了期間目標値 T_0 の値を少しずつ変化させる。

【0157】

例えば、実際の排気空燃比が目標空燃比よりリッチ側であった場合には目標値 T_0 を所定量 GT だけ減少させ、目標空燃比よりリーン側であった場合には目標値 T_0 を所定量 GT だけ増大させる。

20

【0158】

そして、増減後の目標値 T_0 を用いて、再度 T に基づく EGR ガス量制御を行い、実際の T が増減後の目標値 T_0 に一致するように EGR ガス量を調整し、実 T と補正後の目標値 T_0 とが一致したら、再度空燃比センサで検出した排気空燃比と目標空燃比とが一致したか否かを判断し、一致していない場合には再度目標値 T_0 を所定値 GT だけ増減させ、上記の操作を繰り返す。

【0159】

そして、排気空燃比と T との両方が目標値と一致したときの目標値 T_0 を、そのアクセル開度 ACCP と機関回転数 NE における新しい目標値（学習値）として記憶する操作を行う。このように、実際の空燃比センサ出力に基づいて、燃焼圧特性値 T_0 の学習補正を行うことにより、応答性良好に EGR 率を制御しながら排気空燃比を正確に制御することが可能となる。

30

【0160】

次に、本発明の別の実施形態について説明する。

前述の各実施形態では、PV 値を算出し、燃焼圧特性値として PV_{max} に基づいて求めた T を用いて EGR ガス量を制御していた。しかし、EGR ガス量の制御に適した燃焼圧特性値としては、 PV_{max} 、或いは T 以外にも着火遅れ期間と燃焼期間との一方または両方に密接な相関を有する値であれば同様に使用することができる。

【0161】

40

例えば、本実施形態では着火遅れ期間と燃焼期間とに密接な相関を有する燃焼圧特性値として PV の値が最小値 PV_{min} をとるまでの時間 t_d と、PV の値が最小値 PV_{min} をとってから最大値 PV_{max} をとるまでの時間 t_c とを使用している。

【0162】

ここで、PV は各クランク角における燃焼内圧力 P と、そのクランク角における燃焼室容積 V を乗した値との積である。また、 γ は混合気の比熱比である。

【0163】

ここで、気体の状態方程式から断熱変化においては $PV^\gamma = \text{一定}$ となるが、実際の気筒内圧縮行程では、シリンダ壁やピストンを通じての混合気からの放熱があるため、気筒内

50

圧縮行程では $P V$ は圧縮開始から徐々に減少する。

【0164】

一方、混合気に着火して燃焼が開始されると燃焼熱が発生するため、 $P V$ の値は増加を開始する。このため、 $P V$ の値が減少から増加に転じる点、すなわち $P V$ が最小値 $P V_{min}$ となる点は燃焼の開始点である。また、同様に燃焼中は $P V$ の値は増加を続けるが、燃焼が完了して熱が発生しなくなると $P V$ の値は再度減少し始める。従って $P V$ の値が増加から減少に転じる点、すなわち $P V$ が最大値 $P V_{max}$ となる点は燃焼の終了点である。

【0165】

今、燃料噴射開始時期を inj 、 $P V$ が最小値 $P V_{min}$ となるクランク角を $start$ とすると、 $td = start - inj$ は燃料噴射開始から燃焼開始までの期間であるので着火遅れ期間に等しくなる。

10

【0166】

また、 $P V$ が最大値 $P V_{max}$ となるクランク角を end とすると、 $tc = end - start$ は、燃焼が開始してから終了するまでの期間、すなわち燃焼期間に等しくなる。

【0167】

前述したように、着火遅れ期間と燃焼期間とはともに EGR 率と密接な相関を有しており、 EGR 率が増大すると着火遅れ期間、燃焼期間は共に増加し、 EGR 率が減少すると、共に減少する。

20

【0168】

そこで、本実施形態では着火遅れ期間 td または燃焼期間 tc のいずれか一方を用いて前述の T を用いた場合と同様な方法で EGR 率を制御するようにしている。

【0169】

すなわち、本実施形態では予め最適な EGR 率となった燃焼状態における着火遅れ期間（または燃焼期間）の値を目標値 td_0 （または tc_0 ）として、各アクセル開度 $ACC P$ 、機関回転数 NE 毎に設定してある。そして、実際の運転では各行程サイクル毎に燃焼室内圧力とクランク角とから $P V$ の値を算出するとともに、この $P V$ の値が最小値（または最小値及び最大値）となるクランク角を検出し、実運転における td （または tc ）を算出する。

30

【0170】

そして、 td （または tc ）と現在の運転状態（ $ACC P$ 、 NE ）におけるその目標値 td_0 （または tc_0 ）との偏差に基づいて EGR 制御弁開度をフィードバック制御する。

【0171】

なお、比熱比 γ は近似的に一定値とすることができ、燃焼室内容積 V はクランク角の関数となり予め計算することが可能である。従って、 $P V$ の算出に際しては、予め各クランク角毎の V の値を算出して数値テーブルの形で $ECU 30$ の ROM に記憶しておくことにより、簡易に $P V$ の値を算出することができる。

【0172】

40

これにより、 T を用いたフィードバック制御の場合と同様に、制御回路の演算負荷を増大させることなく、しかも正確に応答性良く EGR 率を制御することができる。

【0173】

なお、主燃料噴射に先立って少量の燃料を噴射して燃焼室内で燃焼させることにより、主燃料噴射燃料の燃焼に良好な温度圧力条件を整えるパイロット噴射を行う場合には、算出した $P V$ の値が最小値 $P V_{min}$ か否かの判断は、主燃料噴射開始後に開始するようにすれば、パイロット燃料噴射燃料の燃焼開始時点を主燃料噴射燃料の噴射開始点として誤検出することが防止される。

【図面の簡単な説明】

【0174】

50

【図 1】本発明を自動車用ディーゼル機関に適用した実施形態の概略構成を示す図である。

【図 2】本実施形態で使用する燃焼圧特性値の定義を説明する図である。

【図 3】本実施形態における、燃料噴射等の基本制御を説明するフローチャートである。

【図 4】本実施形態における、燃焼圧特性値を用いた燃料噴射等の制御操作を説明するフローチャートである。

【図 5】燃焼圧特性値を用いた E G R 率制御の別の実施形態を説明するフローチャートである。

【図 6】通常燃焼モードから低温燃焼モードへの切り換え制御を説明するタイミング図である。

【図 7】低温燃焼モードから通常燃焼モードへの復帰時の切り換え制御を説明するタイミング図である。

【符号の説明】

【 0 1 7 5 】

1 ... ディーゼル機関

1 0 a ~ 1 0 d ... 筒内燃料噴射弁

2 0 ... 電子制御ユニット (E C U)

2 1 ... アクセル開度センサ

2 5 ... クランク角センサ

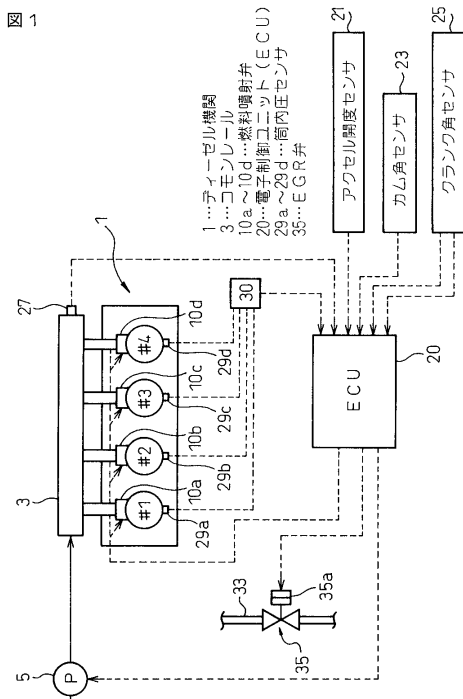
2 9 a ~ 2 9 d ... 筒内圧センサ

3 5 ... E G R 弁

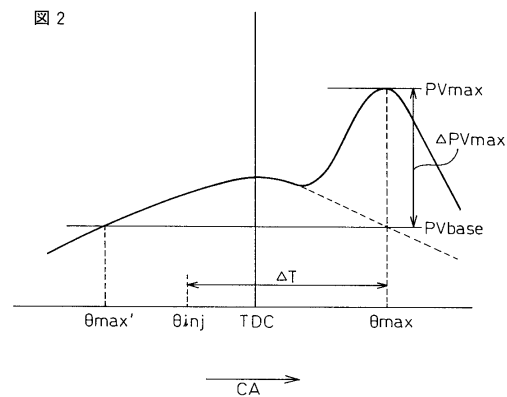
10

20

【図 1】

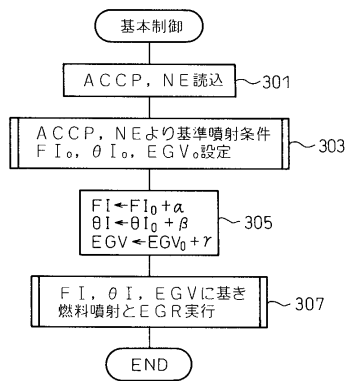


【図 2】



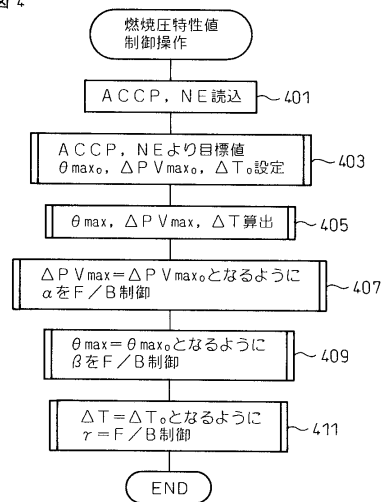
【図 3】

図 3



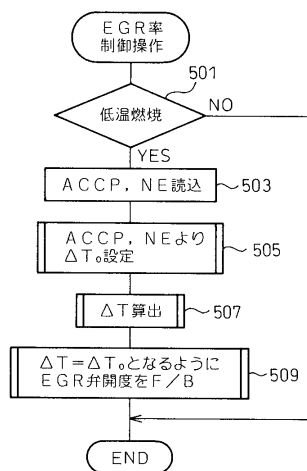
【図 4】

図 4



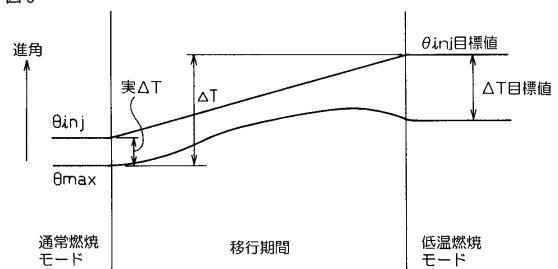
【図 5】

図 5



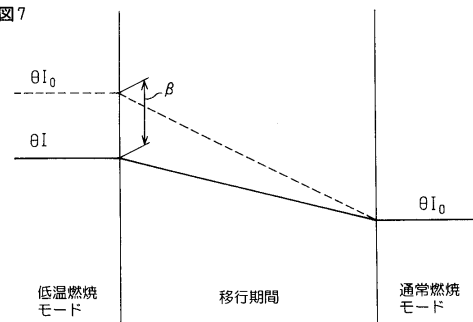
【図 6】

図 6



【図 7】

図 7



フロントページの続き

(51)Int.Cl. F I
 F 0 2 D 41/04 3 8 0 J
 F 0 2 D 41/04 3 8 5 J
 F 0 2 D 41/38 B
 F 0 2 D 45/00 3 2 8
 F 0 2 D 45/00 3 6 8 T

(72)発明者 青山 太郎
 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 佐々木 静夫
 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 吉崎 康二
 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 村田 宏樹
 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 橋本 佳宜
 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 稲垣 和久
 愛知県愛知郡長久手町大字長湫字横道 4 1 番地の 1 株式会社豊田中央研究所内

審査官 後藤 信朗

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

(58)調査した分野(Int.Cl. , D B 名)
 F 0 2 D 2 1 / 0 8
 F 0 2 D 4 1 / 0 4
 F 0 2 D 4 1 / 3 8
 F 0 2 D 4 5 / 0 0
 F 0 2 M 2 5 / 0 7