

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第6742266号  
(P6742266)

(45) 発行日 令和2年8月19日(2020.8.19)

(24) 登録日 令和2年7月30日(2020.7.30)

(51) Int.Cl.	F 1
<b>FO2P 5/153 (2006.01)</b>	FO2P 5/153
<b>FO2D 45/00 (2006.01)</b>	FO2D 45/00 364A
<b>FO2P 5/15 (2006.01)</b>	FO2P 5/15 B
<b>FO2D 43/00 (2006.01)</b>	FO2D 45/00 368S
<b>FO2D 41/02 (2006.01)</b>	FO2D 43/00 301B
請求項の数 8 (全 17 頁) 最終頁に続く	

(21) 出願番号	特願2017-64160 (P2017-64160)	(73) 特許権者	509186579 日立オートモティブシステムズ株式会社 茨城県ひたちなか市高場2520番地
(22) 出願日	平成29年3月29日(2017.3.29)	(74) 代理人	100098660 弁理士 戸田 裕二
(65) 公開番号	特開2018-168699 (P2018-168699A)	(72) 発明者	米谷 直樹 東京都千代田区丸の内一丁目6番6号 株式会社 日立製作所内
(43) 公開日	平成30年11月1日(2018.11.1)	(72) 発明者	猿渡 匡行 茨城県ひたちなか市高場2520番地 日立オートモティブシステムズ株式会社内
審査請求日	令和1年8月26日(2019.8.26)	審査官	丸山 裕樹
		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】

内燃機関の制御装置において、

気筒の点火時期に対してトルクがピークとなる位相角 ( T m a x ) 及び筒内圧力がピークとなる位相角 ( P m a x ) の関係から、前記気筒の最適点火時期を推定する制御部 ( C P U ) を備えた内燃機関の制御装置。

【請求項2】

請求項1において、前記制御部は、エンジン動作時に各点火時期を変化させて、ある気筒の燃焼時において筒内圧がピークとなるクランク角と、燃焼トルクがピークとなるクランク角を二次元マップ上にプロットし、筒内圧ピーククランク角に対する燃焼トルクピーククランク角の傾きが変化した際の点火時期を最適点火時期の推定値とする内燃機関の制御装置。

【請求項3】

請求項1において、前記制御部は、推定した最適点火時期に基づいて、燃焼パラメータを補正する内燃機関の制御装置。

【請求項4】

請求項3において、補正される燃焼パラメータは補正対象の気筒における点火時期、燃料噴射量、点火エネルギー、可変圧縮比機構の設定パラメータ、EGRバルブ開度のうち少なくとも一つ以上である内燃機関の制御装置。

【請求項5】

請求項 4 において、前記制御部は、気筒毎に最適点火時期を推定する内燃機関の制御装置。

【請求項 6】

請求項 1 において、

前記制御部は、アクセルオフ時に気筒の点火時期に対してトルクがピークとなる位相角 ( $T_{max}$ ) 及び筒内圧力がピークとなる位相角 ( $P_{max}$ ) の関係から、前記気筒の最適点火時期を推定する内燃機関の制御装置。

【請求項 7】

請求項 6 において、

前記制御部は、当該アクセルオフ時において、推定した最適点火時期となるように点火時期を補正する内燃機関の制御装置。

10

【請求項 8】

請求項 6 において、

前記制御部は、推定した最適点火時期に基づいて当該アクセルオフの後のアクセルオン時においての最適点火時期を推定し、

当該アクセルオン時において当該、推定した最適点火時期となるように点火時期を補正する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、内燃機関を制御する制御装置に関する。

20

【背景技術】

【0002】

従来、シリンダ内で燃料と空気の混合気を形成させ、点火または自着火により燃焼させるガソリンエンジンが知られている。この種類のエンジンの熱効率を向上させる技術として、理論空燃比よりも燃料が薄い混合気を燃焼させるリーン燃焼技術が広く知られている。リーン燃焼をすることで、混合気の比熱比増加による理論熱効率の向上や、ポンプ損失の低下により、図示熱効率が向上する。

【0003】

混合気中の燃料を薄くすること（リーン化）により、熱効率はより向上するが、同時に燃焼速度の低下による燃焼変動が大きくなり、安定燃焼可能な限界空燃比（リーン限界）が存在する。リーン限界は燃焼室形状や点火装置といったエンジン仕様により定まり、動作時は運転条件ごとにリーン限界を事前記憶しておき、その範囲内で燃費が最適となるよう、空燃比や点火時期などのパラメータが制御される。

30

【0004】

一方、実際のエンジンでは、混合気の流動の気筒ばらつきが発生し、混合気の均質性が気筒間でばらついてしまう。一般的なエンジンでは、点火時期は全気筒同一に定められているため、燃費最適点火時期（以後、MBTと称する。）で点火されない気筒が存在してしまう。そのため、制御値のマーヅンを取り、燃料が濃い側（リッチ側）にシフトさせた空燃比をターゲットとして制御に用いる必要があり、その分燃費が悪化してしまう。

40

【0005】

このような内燃機関の、気筒別点火時期制御に関する背景技術として、特開 2010-1745（特許文献 1）がある。これによると、気筒毎に点火時期を変えて、トルク検出器により平均トルクを求め、平均トルクが最大となる点火時期を気筒毎に求めている。

【0006】

また、特開 2012-112253（特許文献 2）では、点火時期を変化させ、トルク検出器によりトルクを取得し、モータリングのトルクを差し引いた燃焼圧がピークとなるクランク角を、事前記憶した、MBTで燃焼させた際の燃焼圧のピーククランク角に近づけることで、気筒毎に点火時期を制御している。

【先行技術文献】

50

## 【特許文献】

【0007】

【特許文献1】特開2010-1745号公報

【特許文献2】特開2012-112253号公報

## 【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0008】

実際のエンジンでは、混合気の流動の気筒ばらつきが発生し、混合気の均質性が気筒間でばらついてしまう。均質性がばらつくと、点火プラグ周りの空燃比が変動し、混合気の点火や火炎伝播に影響する。例えば、プラグ周りの空燃比がリーンとなると、燃焼速度が低下するため、MBTより進角側へ変化する。また、均質性の気筒バラつきは、吸気管内壁の状態にも依存するため、燃料デポ付着などの経年変化により混合気の流動が弱まった場合、MBTは進角側へ変化する。

10

【0009】

一般的なエンジンでは、点火時期は全気筒同一に事前記憶されるため、気筒ばらつきにより、燃費最適点火時期で点火されない気筒が存在してしまう。ここで、リーン限界に近い領域で燃焼制御を行う場合、均質性ばらつきにより一部の気筒が失火する恐れがある。例えば、リーン限界ぎりぎりでの運転時に、ある気筒のみプラグ周りの空燃比がリーン化してしまうと、当該気筒における点火進角量では燃焼速度の低下を補うことができなくなり、燃焼不安定化、または失火が発生してしまう。そのため、制御値のマーヅンを取り、燃焼が安定する、より燃料が濃い側(リッチ側)にシフトさせた空燃比をターゲットとして制御に用いる必要があり、その分燃費が悪化してしまう。

20

【0010】

しかしながら、先の特許文献1では、MBTを判断するのに必要な精度でトルクを検出するには、トルク検出器や筒内圧センサ等の追加センサが必要となってしまう。また平均トルクを求めるためにトルクをクランク角毎に測定する必要があるため、必要なメモリ領域が増大してしまう。また、先の特許文献2では、MBT燃焼時における燃焼圧のピーク位置を固定値として事前記憶しているため、エンジンの経時劣化によるMBT変化に追従できない。

このように、気筒毎のMBTの経時変化を、軽計算負荷かつ高精度に推定することが困難であるという課題があった。

30

【0011】

本発明の目的は、各気筒の燃費最適点火時期(MBT)の経時変化を検知可能な制御装置を提供することである。

【課題を解決するための手段】

【0012】

上記課題を解決するために、例えばその手段の一例として、気筒の点火時期に対してトルクがピークとなる位相角( $T_{max}$ )及び筒内圧力がピークとなる位相角( $P_{max}$ )の関係から、前記気筒の最適点火時期を推定する。

【発明の効果】

40

【0013】

本発明によれば、全気筒でのMBT燃焼が可能となり、リーン燃焼時の制御マーヅン削減による低燃費化の効果が得られる。本発明の上記した以外の構成、作用、効果は以下の実施例において詳細に説明する。

【図面の簡単な説明】

【0014】

【図1】本発明の第1の実施例によるエンジンの制御装置を、自動車用筒内噴射式ガソリンエンジンに適用させたシステム構成図である。

【図2】本発明の第1の実施例によるエンジンの制御装置における、シリンダ付近を拡大した構成図である。

50

【図3】本発明の第1の実施例による、1気筒におけるクランク角毎の筒内圧とトルクを示すグラフである。

【図4】本発明の第1の実施例による、燃費最適点が発生するメカニズムを示した、筒内圧と筒内容積の関係を示したグラフである。

【図5】本発明の第1の実施例による、筒内圧のピークにおけるクランク角と、トルクピークにおけるクランク角の関係を示したグラフである。

【図6】本発明の第1の実施例による、点火時期補正制御の一例を示すシステムブロック図である。

【図7】本発明の第2の実施例による、アクセルオフ時の学習データに基づいた、燃料噴射時期補正制御の一例を示すシステムブロック図

10

【発明を実施するための形態】

【0015】

以下、図面を用いて本発明の実施例について説明する。

【実施例1】

【0016】

以下、図1～図6を用いて、本発明の第1の実施例によるエンジンの制御装置の構成及び動作について説明する。

図1は、本発明の第1の実施例によるエンジンの制御装置を、自動車用筒内噴射式ガソリンエンジンに適用させたシステム構成図であり、図2はシリンダ部の拡大図である。エンジン100は、火花点火式燃焼を実施する自動車用の4気筒ガソリンエンジンである。吸入空気量を計測するエアフローセンサ1と、吸気を過給するための過給機のコンプレッサ4aと、吸気を冷却するためのインタークーラ7と、吸気管6内の圧力を調整する電子制御スロットル2と、吸気管6内の圧力を計測する吸気圧力センサ14が吸気管6に設けられている。また、エンジン100には、各気筒のシリンダ15の中に燃料を噴射する燃料噴射装置（以下、インジェクタ）13と、噴射された燃料と空気の混合気を圧縮するためのピストン18、点火エネルギーを供給する点火プラグ17が気筒ごとに備えられている。

20

【0017】

また図2に示すように、本実施例においてインジェクタ13の先端部には筒内圧力を測定する筒内圧力センサ19aが備えられている。なお、筒内圧力センサ19aは、必ずしもインジェクタ13に取り付けられる必要は無く、例えば点火プラグ17等の他の機器と一体となってもよく、単体でシリンダ15（気筒）に取り付けられても良い。また、筒内に流入、または筒内から排出するガス流量を調整する可変バルブタイミング機構5a（吸気側）、5b（排気側）が、シリンダヘッドに設けられている。可変バルブタイミング5a、5bにより、第1シリンダから第4シリンダまで全気筒の吸気バルブ21及び排気バルブ22の開弁、閉弁時期を調整することにより、吸気量および内部EGR量を調整する。また、図示していないがインジェクタ13に高圧燃料を供給するための高圧燃料ポンプが燃料配管（コモンレール）の上流側に配置され、インジェクタ13は燃料配管（コモンレール）に取り付けられている。これにより、高圧燃料ポンプによりたとえば20MPaに加圧された燃料が燃料配管（コモンレール）に蓄圧されることで、インジェクタ13を介して燃料が各気筒内に直接噴射される。なお、燃料配管（コモンレール）には、内部の燃料圧力（噴射圧力）を計測するための燃料圧力センサが取り付けられている。

30

40

【0018】

また、エンジン100は、排気エネルギーによって過給機のコンプレッサ4aに回転力を与えるためのタービン4bと、タービンに流れる排気流量を調整するための電子制御ウェイストゲート弁11とを有する。さらに、排気を浄化する三元触媒10と、空燃比検出器の一態様であって、三元触媒10の上流側にて排気空燃比を検出する空燃比センサ9と、が排気管16に設けられている。また、クランク軸48には、回転角度を算出するためのクランク角度センサ49が設けられている。

【0019】

50

EGR管40は排気管の触媒10の下流から、吸気管6のコンプレッサ4aの上流に排気を還流させるための配管である。また、EGRを冷却するためのEGRクーラ42、EGR流量を制御するためのEGR弁41、EGR弁前後の差圧を検出する差圧センサ43、EGR温度を検出するEGR温度センサ44が、EGR管40の各々の適切な位置に、取り付けられている。

#### 【0020】

エアフローセンサ1と空燃比センサ9と吸気圧センサ14と差圧センサ43とEGR温度センサ44から得られる信号は、エンジンコントロールユニット(ECU)20に送られる。また、アクセル開度センサ12から得られる信号がECU20に送られる。アクセル開度センサ12は、アクセルペダルの踏み込み量、すなわち、アクセル開度を検出する。ECU20は、アクセル開度センサ12の出力信号に基づいて、要求トルクを演算する。すなわち、アクセル開度センサ12は、エンジンへの要求トルクを検出する要求トルク検出センサとして用いられる。また、ECU20は、クランク角度センサの出力信号に基づいて、エンジンの回転速度を演算する。ECU20は、上記各種センサの出力から得られるエンジンの運転状態に基づき、空気流量、燃料噴射量、点火時期、燃料圧力等のエンジンの主要な作動量を最適に演算する。

#### 【0021】

ECU20で演算された燃料噴射量は開弁パルス信号に変換され、インジェクタ13に送られる。また、ECU20で演算された点火時期で点火されるように、点火信号が点火プラグ17に送られる。また、ECU20で演算されたスロットル開度は、スロットル駆動信号として電子制御スロットル2に送られる。また、ECU20で演算された可変バルブタイミングの作動量は、可変バルブタイミング駆動信号として、可変バルブタイミング5へ送られる。また、ECU20で演算されたウェイストゲート弁開度は、ウェイストゲート弁駆動信号として、ウェイストゲート弁11へ送られる。また、ECU20で常時演算されるEGR弁開度は、EGR弁開度駆動信号として、EGR弁41へ送られる。

#### 【0022】

吸気管6から吸気バルブ21を経てシリンダ15内に流入した空気に対し、インジェクタ13により燃料が噴射され、混合気が形成される。混合気は所定の点火時期で点火プラグ17から発生される火花により爆発し、その燃焼圧力によりピストンを押し下げてエンジンの駆動力となる。更に、爆発後の排気ガスは排気管16を経て、三元触媒10に送りこまれ、排気成分は三元触媒10内で浄化され、外部へ排出される。

#### 【0023】

実際のエンジンでは、混合気の流動の気筒ばらつきが発生し、混合気の均質性が気筒間でばらついてしまう。均質性がばらつくと、点火プラグ周りの空燃比が変動し、混合気の点火や火炎伝播に影響する。例えば、プラグ周りの空燃比がリーンとなると、燃焼速度が低下するため、MBT(Minimum advance for the Best Torque)はより進角側へ変化する。なお、MBTは、エンジン回転数や吸気量など同一条件のもとで、点火時期のみを変化させた際、トルクが最大となる点火時期のことでMBTは、エンジンの運転条件によって変化する。また、均質性の気筒バラつきは、吸気管内壁の状態にも依存するため、燃料デポ付着などの経年変化により混合気の流動が弱まった場合、MBTは進角側へ変化する。

#### 【0024】

ここで点火時期が全気筒で同一に事前に記憶されるエンジンの場合には、気筒ばらつきにより、燃費最適点火時期(MBT)で点火されない気筒が存在してしまう。ここで、リーン限界に近い領域で燃焼制御を行う場合、均質性ばらつきにより一部の気筒が失火する虞がある。例えば、リーン限界ぎりぎりでの運転時に、ある気筒のみプラグ周りの空燃比がリーン化してしまうと、当該気筒における点火進角量では燃焼速度の低下を補うことができなくなり、燃焼不安定化、または失火が発生してしまう。そのため、制御値のマージンを取り、燃焼が安定する、より燃料が濃い側(リッチ側)にシフトさせた空燃比をターゲットとして制御に用いる必要があり、その分、燃費が悪化してしまう。

10

20

30

40

50

## 【 0 0 2 5 】

しかしながら、先の特許文献 1 では、M B T を判断するのに必要な精度でトルクを検出するには、トルク検出器や筒内圧センサ等の追加センサが必要となってしまう。また平均トルクを求めるためにトルクをクランク角毎に測定する必要があるため、必要なメモリ領域が増大してしまう。また、先の特許文献 2 では、M B T 燃焼時における燃焼圧のピーク位置を固定値として事前記憶しているため、エンジンの経時劣化による M B T 変化に追従できない。

このように、気筒毎の M B T の経時変化を、軽計算負荷かつ高精度に推定することが困難であるという課題があった。

## 【 0 0 2 6 】

図 3 は、本実施例における検出対象パラメータで、1 気筒におけるクランク角毎の筒内圧とトルクを示すグラフである。まず、一般的な筒内圧の変化について説明する。筒内圧は、吸気行程では大気圧と同等の値 ( 0 . 1 0 1 3 M P a ) を示し、圧縮行程に入ると、混合気がピストンにより圧縮され、筒内圧が上昇する。上死点近傍で点火プラグ 1 7 より混合気への点火が行われると、燃焼が開始され、筒内圧は急激に上昇する。そして、上死点よりもやや後方で筒内圧のピークとなり、その後、膨張行程では燃焼後のガスが膨張し、筒内圧は低下する。排気行程になり、排気バルブ 2 2 が開くと、筒内圧は大気圧相当まで低下する。次に、トルクの一般的な変化について説明する。トルクは、吸気行程では空気を吸い込むために負の仕事をし、圧縮行程では混合気を圧縮するために、更に負の仕事をする。上死点ではピストン機構的に力の伝達効率がゼロとなるため、トルクは必ずゼロとなる。下死点でも同様に、トルクはゼロになる。その後、筒内圧ピークよりも後の位置、ピストンが最も加速する瞬間、すなわちトルクピークが現れる。膨張行程の間は、燃焼によるトルクが発生する。排気行程では、排気を掃気するために負の仕事をする。ここで、筒内圧がピークとなるクランク角を  $P_{max}$ 、トルクがピークとなるクランク角を  $T_{max}$  と定義する。

## 【 0 0 2 7 】

図 4 は、本実施例による、点火時期を M B T より進角した場合と、M B T で点火した場合と、点火時期を M B T より遅角した場合の、筒内圧と筒内容積の関係を示す図 ( P - V 線図 ) である。この P - V 線図を用いて、点火時期変更に対する、 $P_{max}$  および  $T_{max}$  の変化のメカニズムを説明する。

## 【 0 0 2 8 】

ガソリンエンジンの理論的な燃焼サイクルでは、図 4 に示されるような圧力および体積の変化が見られる。この際に曲線で囲まれた部分のうち、上側の領域の面積から下側の領域の面積を差し引いた面積が、内燃機関の仕事となる。実際のサイクルでは、火炎伝播に時間がかかるため、上死点よりも前で点火を行う必要があるため、図中の斜線部に示される損失が発生する。図 4 ( a ) は M B T よりも点火進角した場合を示しており、L 1 は、ピストン上昇中にピストンを下に押す燃焼圧が発生することによる損失を示す。この損失 L 1 は点火時期を進角すればするほど L 1 は増えていく。L 1 領域が増えても、圧縮上死点前のトルクが減少するだけであるので、上死点後のトルクピーク位置  $T_{max}$  は変化しない。一方、図 4 ( c ) は M B T よりも点火遅角した場合を示しており、L 2 は、ピストン下降中にピストンを下方向に押す燃焼圧が発生していないことによる損失を示す。この損失 L 2 は点火時期を遅角するにつれて L 2 は増えていく。L 2 領域が増えると、圧縮上死点以後のトルクが減少し、上死点後のトルクピーク位置  $T_{max}$  も遅角していく。図 4 ( b ) は M B T で点火した場合を示しており、損失 L 1 と L 2 の和が最小となる、すなわち一サイクルでの仕事が最大になる場合を示している。この際、一般的に L 1 と L 2 の面積は等しくなり、2 種類の損失が上死点前後に均等に振り分けられた状態となる。

## 【 0 0 2 9 】

点火時期が M B T より進角した状態では、 $T_{max}$  変化に感度が無い L 1 の割合が高くなり、逆に点火時期が M B T より遅角した状態では、 $T_{max}$  変化に感度がある L 2 の割合が高くなる。すなわち、点火時期が M B T より進角した状態では、損失 L 1 が支配

10

20

30

40

50

的であるため、点火時期変更に対する  $T_{max}$  の変化は小さく、逆に点火時期が MBT より遅角した状態では、損失  $L_2$  が支配的であるため、点火時期変更に対する  $T_{max}$  の変化が大きい。したがって、点火時期を進角側から遅角方向に変化させながら  $T_{max}$  を観察すると、点火時期が MBT より遅角側にきた際に、点火時期に対する  $T_{max}$  の変化率が大きくなり、この  $T_{max}$  の変化から MBT を推定することが可能である。また、点火時期を遅角側から進角側に変化させても、同様に変曲点が現れる。

【0030】

図5は、横軸を筒内圧ピーク位置  $P_{max}$ 、縦軸をトルクピーク位置  $T_{max}$  として、点火時期を振った際の両パラメータの変化を4気筒分プロットしたものである。点火時期を変化させた際の  $T_{max}$  の傾きは一定ではなく、点火時期を遅角させるにつれて、 $T_{max}$  が遅角方向に変化する傾きは二次曲線的に増加する。これは、点火時期を遅角すると、筒内圧上昇が緩やかとなり、筒内圧ピーク位置がより遅角側にずれる。そのため、 $T_{max}$  もより遅角方向にずれていくことになり、傾きが増加していく。 $T_{max}$  が二次曲線的に変化すると、MBT通過時に正確に変曲点を検知することが困難となる。

10

【0031】

そこで、図5のように片方の軸を筒内圧ピーク位置  $P_{max}$ 、もう片方の軸をトルクピーク位置  $T_{max}$  として二次元プロットを行う。これにより、二次曲線の成分が相殺され、変曲点以外の部分が直線的になるため、変曲点を検知しやすくなる。本メカニズムは、圧縮上死点以後に筒内圧がピークを迎える1山の筒内圧波形の燃焼時に適用可能であり、リーン燃焼やEGRガスを導入した燃焼状態にも適用可能である。

20

【0032】

図6は、本実施例による、燃料噴射時期補正制御の一例を示すシステムブロック図である。点火時期が全気筒において同一に事前に記憶されるエンジンの場合には、気筒ばらつきにより、MBTで点火されない気筒が存在してしまう。また、初期状態では各気筒がMBT燃焼していても、吸気管等への付着物による、流動状態の経時変化により、各気筒のMBTがずれてしまう場合がある。そこで、エンジン動作中、例えば、エンジン始動後のアイドル時や、走行中にアクセルオフで惰性走行している際に、点火時期を変更し、気筒別MBTの推定を行う。つまり、このような期間において、上記したように点火時期を変更することで、筒内圧ピーク位置  $P_{max}$ 、もう片方の軸をトルクピーク位置  $T_{max}$  として二次元プロットを行い、このときに現れる変曲点により気筒別にMBTを推定する。

30

【0033】

各ステップにおける処理を説明する。S601では、点火時期変更によるMBT探索が実行可能かを判断する。冷機状態にあるなど、MBT制御条件が成立していない場合や、点火時期を変更することによるトルク段差の発生や失火の恐れがある場合は、MBT探索は実行しない。MBT探索が実行可能な場合、S602において、点火時期を進角方向、遅角方向の少なくとも一方以上の方向に変更する。S603では、クランク角度センサの情報を取得し、S604では前記クランク角度センサの情報に基づいて、トルクピーククランク角  $T_{max}$  と筒内圧ピーククランク角  $P_{max}$  を取得する。クランク角度センサによりクランク軸角速度  $\dot{\omega}$  が得られたとき、燃焼トルク  $\tau_{comb}$  は下記の数(1)で表される。

40

【0034】

【数1】

$$J\dot{\omega} = \tau_{comb} + \tau_{fric} + \tau_{inert} + \tau_{load}$$

【0035】

$\tau_{fric}$ 、 $\tau_{inert}$ 、 $\tau_{load}$  は摩擦トルク、慣性トルク、負荷トルク、 $J$  はエンジン回転系

50

の慣性を表す。燃焼トルクを求めるには、角速度の微分を計算する必要があるが、クランク角センサにより測定されるには様々なノイズが含まれ、通常の微分を行うとこのノイズが強調され、正確なトルク波形が再現できない。そこで、微分によるノイズの強調を避けるために、に含まれる高周波成分をカットした結果を用いてトルクを推定しても良い。

【0036】

また、推定トルクには摩擦トルクや負荷トルクによるオフセットが含まれているため、4気筒エンジンのコネクティングロッドの幾何学的な特徴を用いて、このオフセットを打ち消す。エンジンのピストン位置が上死点または下死点である場合は、シリンダ圧力はクランク軸に動力を伝達できないため、トルクはゼロになる。この性質を利用して、推定トルクのオフセットを補正する。上死点あるいは下死点（クランク角が $\theta_1$ ）での推定トルクが $T_1$ 、次の上死点あるいは下死点（クランク角が $\theta_2$ ）での推定トルクが $T_2$ である場合は、 $T_1$ と $T_2$ の間の補正トルクを数(2)に示す。これが最終的な燃焼トルク推定値である。

10

【0037】

【数2】

$$\tau_{\text{compensation}} = \tau_1 \frac{\theta_2 - \theta}{\theta_2 - \theta_1} + \tau_2 \frac{\theta - \theta_1}{\theta_2 - \theta_1}$$

20

【0038】

なお、オフセットの打消しは4気筒エンジンの機構的特徴を用いて行われているが、3気筒エンジンのように上死点および下死点でトルクがゼロとならない気筒については、本補正は適用できない。しかし、 $T_{\text{max}}$ はピストン上死点および下死点付近では発生しないため、数(2)のオフセットの補正は実施しなくても、 $T_{\text{max}}$ の推定精度に与える影響は小さい。そこで、直接式(3)によって $T_{\text{max}}$ を定義することも可能である。数(3)により、1サイクル中におけるトルクピーク位置を $T_{\text{max}}$ と定義する。

【0039】

【数3】

$$\theta T_{\text{max}} = \text{Max}(\tau_{\text{compensation}})$$

30

【0040】

次に、得られたトルクから筒内圧を算出する。トルクと筒内圧 $P_{\text{comb}}$ の関係は、ピストン機構学的に定まり、以下の数(4)で表される。

【0041】

【数4】

$$P_{\text{comb}} = \frac{T_{\text{compensation}} \cos \theta}{A_{\text{cyl}} R \sin(\theta + \varphi)}$$

40

【0042】

$A_{\text{cyl}}$ はシリンダ断面積、 $R$ はクランクアーム長さ、 $\varphi$ はクランクアームと中心軸の間の角度である。数(5)によって、筒内圧ピーク位置 $P_{\text{max}}$ を定義する。

【0043】



【数5】

$$\theta P_{\max} = \text{Max}(P_{\text{comb}})$$

【0044】

なお、 $T_{\max}$ と $P_{\max}$ を取得するためのセンサは、クランク角度センサに限定されるものではなく、筒内圧センサやトルクセンサの検出値を用いることで算出しても良い。あるいは、その他の検出手段を用いても良い。

10

【0045】

S605では、推定した $T_{\max}$ と $P_{\max}$ を複数プロットし、S606において、変曲点の有無を検知する。変曲点を検知した場合は、S607において、変曲点における点火時期と現在の点火時期MAP値を比較して、点火時期補正量を取得する。そしてS608において、当該気筒の点火時期がMBTとなるよう、点火時期を補正する。例えば、推定したMBTが現在の点火時期MAP値に比べて進角方向にある場合、当該気筒の点火時期を、MAP値から進角する。変曲点を検知されない場合は、S602に戻り、再び点火時期を変更して、S606で変曲点を検出されるまでS602からS606のループを繰り返す。

【0046】

20

以上の通り、本実施例の内燃機関の制御装置(ECU20)は、気筒の点火時期に対してトルクがピークとなる位相角( $T_{\max}$ )及び筒内圧力がピークとなる位相角( $P_{\max}$ )の関係から、気筒の最適点火時期(MBT)を推定する制御部(CPU)を備えたものである。

【0047】

また、制御装置(ECU20)の制御部(CPU)は、エンジン動作時に各点火時期を変化させて、ある気筒の燃焼時において筒内圧がピークとなるクランク角と、燃焼トルクがピークとなるクランク角を二次元マップ上にプロットする。そして、制御部(CPU)筒内圧ピーククランク角に対する燃焼トルクピーククランク角の傾きが設定値以上に変化した場合の点火時期を最適点火時期(MBT)の推定値とすることが望ましい。

30

【0048】

また、制御装置(ECU20)の制御部(CPU)は、推定した最適点火時期(MBT)に基づいて、燃焼パラメータを補正する。なお、ここで補正される燃焼パラメータは補正対象の気筒における点火時期、燃料噴射量、点火エネルギー、可変圧縮比機構の設定パラメータ、EGRバルブ開度のうち少なくとも一つ以上であることが望ましい。さらに制御装置(ECU20)の制御部(CPU)は、気筒毎に最適点火時期を推定することが望ましい。

【0049】

このように、エンジン始動後のアイドル時や走行中にアクセルオフで惰性走行している際に、点火時期を変更し、気筒別MBTの推定と点火時期の補正を行うことで、MBTの量産ばらつきや、吸気量の経時劣化によるMBT気筒差を小さくすることができ、制御マージンの削減および低燃費化が可能となる。

40

【0050】

本実施例ではアクセルオフ、すなわち車両がエンジントルクを必要としない場合の説明を行ったが、走行中に点火時期を振ってデータを取得してもよく、またアクセルオフ時に取得したデータを記憶して、他の運転条件における燃焼パラメータの補正値を予測しても良い。

【実施例2】

【0051】

以下、図7を用いて、本発明の第2の実施例によるエンジンの制御装置の構成及び動作

50

について説明する。なお、エンジンシステム構成は実施例1の図1、図2と同じであるため、説明は省略する。

図7は、本実施例による、アクセルオフ時の学習データに基づいた、アクセルオン時の燃料噴射時期補正制御の一例を示すシステムブロック図である。

【0052】

本実施例に基づくMBT探索では、点火時期を変更することでトルク変動が発生する。点火時期変更によるトルク変動を、スロットル開度の変更などで抑制可能な場合は、アクセルオン時でもMBT探索が可能であるが、点火時期変更によるトルク変動が抑制できない場合は、ドライバの乗り心地が悪化するため、本推定を実施することが困難となる。そこで、本推定が実施不可能な運転状態においては、アクセルオフ時に学習したデータに基づいて、当該運転状態におけるMBT気筒差を推定する。

10

【0053】

S701では、点火時期変更によるMBT探索が実行可能かを判定する。実行可能な場合は、S709において、点火時期を変更して気筒別のMBTを推定し、MBT気筒差を記憶する。MBT探索が実行不可能な場合は、S702において、アクセルオフ時に推定した気筒別のMBTを読み出す。S703では、燃焼シミュレーションや実験結果を用いて、気筒別のMBT差を与える、吸気圧の気筒差を推定する。これは、運転条件によって変化するMBTの気筒差を、運転条件が変化しても気筒間の相対関係が保たれるパラメータに変換したことに相当する。ここでは、流動の強さを表すパラメータとして、吸気圧を用いたが、他のパラメータを用いて流動の気筒差を代表させても良い。

20

【0054】

S704では、各センサを用いて、アクセルオン時におけるエンジン回転数、スロットル開度、および吸気圧を取得する。S705では、S702で推定した各気筒の吸気圧の相対差に基づいて、S704で記憶した吸気圧が各気筒の平均値となるように、各気筒の吸気圧を推定する。S706では、再度燃焼シミュレーションや実験結果を用いて、S703で推定した吸気圧を入力値として各気筒のMBTを算出する。S707において、推定された各気筒のMBTと現在の点火時期MAP値を比較して、点火時期補正量を得る。そしてS708において、気筒別に点火時期の補正を行う。

【0055】

以上の通り、本実施例において制御装置(ECU20)の制御部(CPU)は、アクセルオフ時に気筒の点火時期に対してトルクがピークとなる位相角( $T_{max}$ )及び筒内圧力がピークとなる位相角( $P_{max}$ )の関係から、前記気筒の最適点火時期を推定することが望ましい。また制御部(CPU)は、アクセルオフ時において、推定した最適点火時期となるように点火時期を補正する。そして制御部(CPU)は、推定した最適点火時期に基づいてアクセルオフの後のアクセルオン時においての最適点火時期を推定し、アクセルオン時において当該、推定した最適点火時期となるように点火時期を補正する。

30

【0056】

このように、アクセルオフ時に気筒別のMBTを推定し、運転条件によって変化するMBTの気筒差を、運転条件が変化しても気筒間の相対関係が保たれるパラメータに変換した上で、アクセルオン時におけるMBT気筒差を推定することで、MBT推定を常時行うことなく、アクセルオフ時のみのデータで他の運転領域でもMBT気筒差を小さくすることができ、制御マージンの削減および低燃費化が可能となる。

40

【実施例3】

【0057】

以下、本発明の第3の実施例によるエンジンの制御装置の構成及び動作について説明する。エンジンシステム構成は実施例1の図1、図2と同じであるため、説明は省略する。本発明により推定した気筒別MBTに対しては、変更する燃焼パラメータは点火時期に限られるものではない。本実施例では、燃焼パラメータとして点火時期以外のパラメータを変更する場合について説明する。

まず、燃料噴射量を変更する場合について説明する。燃料噴射量については、インジェク

50

タ先端の燃料デポ付着や、駆動回路の内部抵抗増加といった経年劣化によって、同じ噴射信号に対する実際の燃料噴射量が低下する。例えば、ある気筒のインジェクタの燃料噴射量が低下すると、ターゲットの空燃比に対して実際の空燃比がリーンとなり、燃焼速度が低下する。その結果、点火時期を早める必要があるため当該気筒のMBTは進角方向にずれてしまう。空燃比の気筒差が原因でMBTがばらついている場合、点火時期のみを変更しても各気筒で発生するトルクが異なってしまい、トルク段差発生の要因となる。

**【0058】**

そこで、推定したMBTが、点火時期MAP値に対して進角している場合、燃料噴射量を増加させて空燃比をリッチ側に補正する。すると、燃焼速度が増加してMBTが遅角側にずれ、点火時期MAP値に近づく。逆に、推定されたMBTが、点火時期MAP値に対して遅角している場合、燃料噴射量を減少させて空燃比をリーン側に補正する。すると、燃焼速度が低下してMBTが進角側にずれ、点火時期MAP値に近づく。

10

**【0059】**

このように、推定したMBTに対して燃料噴射量を変更することで、各気筒の空燃比ばらつきに起因するMBT気筒差を小さくすることができ、気筒間の燃焼ばらつきの低減による制御マージンの削減および低燃費化が可能となる。

次に、点火エネルギーを変更する場合について説明する。点火エネルギーについては、点火プラグの表面汚れによる表面抵抗増加や、駆動回りの内部抵抗増加等による経年劣化によって、同じ点火信号に対する放電エネルギーが低下する。例えば、ある気筒の点火装置の点火エネルギーが低下すると、火炎核形成が妨げられて、初期燃焼速度が低下する。その結果、当該気筒の熱発生時期が遅れ、その分点火時期を早める必要があるため、MBTは進角方向にずれてしまう。点火エネルギーの気筒差が原因でMBTがばらついている場合、点火時期のみを変更しても各気筒で発生するトルクが異なってしまい、トルク段差発生の要因となる。

20

**【0060】**

そこで、推定したMBTが、点火時期MAP値に対して進角している場合、点火エネルギーを増加させて初期燃焼を高速化する。すると、燃焼速度が増加してMBTが遅角側にずれ、点火時期MAP値に近づく。逆に、推定したMBTが、点火時期MAP値に対して遅角している場合、点火エネルギーを低下させて初期燃焼を減速させる。すると、燃焼速度が低下してMBTが進角側にずれ、点火時期MAP値に近づく。

30

**【0061】**

このように、推定したMBTに対して点火エネルギーを変更することで、各気筒の初期燃焼ばらつきに起因するMBT気筒差を小さくすることができ、気筒間の燃焼ばらつきの低減による制御マージンの削減および低燃費化が可能となる。

次に、EGR弁開度を変更する場合について説明する。EGR弁については、その開度が大きいほど多くのEGRガスが筒内へ導入される。EGR弁開度については、運転条件ごとに制御値が事前記憶されているが、EGR弁のアクチュエータ劣化やシール性能劣化といった経年劣化によって、同じEGR開弁信号に対する実際のEGR率の変動する。例えば、EGR弁のシール性能劣化により、ターゲットEGR率に対して実際のEGR率が大きくなってしまおうと、混合気の希釈度が増加するため、燃焼速度が低下する。その結果、各気筒で熱発生時期が遅れ、MBTは遅角方向にずれてしまう。EGR率がターゲット値に比べて大きくなってしまおうと、燃焼変動率が大きくなり、各気筒の点火時期をMBTに設定しても燃費低減効果が得られない恐れがある。

40

**【0062】**

そこで、各気筒で推定したMBTが、点火時期MAP値に対して進角している場合、EGR開度を小さくしてEGR率を低下させる。すると、燃焼速度の増加によりMBT位置が遅角し、点火時期MAP値に近づく。逆に、各気筒で推定したMBTが、点火時期MAP値に対して進角している場合、EGR開度を大きくしてEGR率を増加させる。すると、燃焼速度の低下によりMBT位置が進角し、点火時期MAP値に近づく。

50

## 【 0 0 6 3 】

このように、推定した M B T に対して E G R 弁開度を変更することで、E G R 率のずれによる各気筒の燃焼変動の増加を抑えることができ、各気筒の点火時期補正による燃費低減効果を増加させることが可能となる。

次に、バルブタイミングを変更する場合について説明する。バルブタイミングについては、吸気バルブの開弁時期 ( I V O ) を上死点より進角する、または排気バルブの開弁時期 ( E V C ) を上死点より進角すると、E G R ガスが筒内または吸気管内に残留し、次サイクルに筒内へ導入される。バルブタイミングは、運転条件ごとに制御値が事前記憶されているが、吸排気バルブのシール性能劣化などにより、ターゲット E G R 率に対して実際の E G R 率が大きくなってしまうと、混合気の希釈度が増加するため、燃焼速度が低下する。その結果、各気筒で熱発生時期が遅れ、その分点火時期を早める必要があるため、M B T は進む方向にずれしてしまう。E G R 率がターゲット値に比べて大きくなってしまうと、燃焼変動率が大きくなり、各気筒の点火時期を M B T に設定しても燃費低減効果が得られない恐れがある。

10

## 【 0 0 6 4 】

そこで、各気筒で推定した M B T が、点火時期 M A P 値に対して進角している場合、I V O を上死点後または M A P 値より遅角側へ変更する。または、E V C を上死点後または M A P 値より遅角側へ変更する。すると、E G R 率が低下して、燃焼速度の増加により M B T 位置が遅角し、点火時期 M A P 値に近づく。

20

## 【 0 0 6 5 】

逆に、各気筒で推定した M B T が、点火時期 M A P 値に対して遅角している場合、I V O を上死点前または M A P 値より進角側へ変更する。または、E V C を上死点前または M A P 値より進角側へ変更する。すると E G R 率が増加して、燃焼速度の低下により M B T 位置が進角し、点火時期 M A P 値に近づく。

## 【 0 0 6 6 】

このように、推定した M B T に対してバルブタイミングを変更することで、E G R 率のずれによる各気筒の燃焼変動の増加を抑えることができ、各気筒の点火時期補正による燃費低減効果を増加させることが可能となる。

30

次に、スロットルバルブ開度を変更する場合について説明する。

一般的な可変バルブタイミングを備えたエンジンの場合、I V O を変更すると、吸気バルブの開弁時期 ( I V C ) も同時に変更されてしまう。I V C が下死点から遠ざかると、実圧縮比が低下して、発生するトルクが低下してしまう。そこで、I V C が下死点から遠ざかってしまう場合は、スロットルバルブ開度を増加させることで、吸気量を増加させ、トルクを確保する。逆に I V C が下死点に近づき、実圧縮比が増加する場合は、スロットルバルブ開度を減少させることで、吸気量を減少させ、トルクが過大となることを防止する。

## 【 0 0 6 7 】

同様に、E V C を変更すると、排気バルブの開弁時期 ( E V O ) も同時に変更されてしまう。E C O が下死点から遠ざかると、実膨張比が低下して、発生するトルクが低下してしまう。そこで、E V O が下死点から遠ざかってしまう場合は、スロットルバルブ開度を増加させることで、吸気量を増加させ、トルクを確保する。逆に E V O が下死点に近づき、実膨張比が増加する場合は、スロットルバルブ開度を減少させることで、吸気量を減少させ、トルクが過大となることを防止する。

40

## 【 0 0 6 8 】

このように、推定した M B T に対してスロットルバルブ開度を変更することで、前記のバルブタイミング変更によるトルク増減を抑えることができ、各気筒の点火時期補正による燃費低減効果を増加させることが可能となる。

## 【 0 0 6 9 】

50

次に、ガス流動デバイスを作動させる場合について説明する。

ガス流動デバイスとは、気筒別または全気筒一律で空気流動を強化するデバイスであり、吸気ポートの内壁に取り付けられ、吸気の流路を狭めることでタンブル流速を増加させるタンブルコントロールバルブや、スワール流速を増加させるスワールコントロールバルブがその一例である。ガス流動デバイスを用いて空気流速を増加させると、乱れエネルギーの増加により混合気の燃焼速度が増加し、その分点火時期を遅らせることができ、M B T位置がより遅角側へ移動する。

【0070】

各気筒で推定したM B Tが、点火時期M A P値に対して進角している場合、前記のガス流動デバイスを作動させ、空気流動を強化する。すると、燃焼速度の増加によりM B T位置が遅角し、点火時期M A P値に近づく。

10

【0071】

このように、推定したM B Tに対してガス流動デバイスを作動させることで、各気筒の流動不足による燃焼変動増加を抑制することができ、各気筒の点火時期補正による燃費低減効果を増加させることが可能となる。

【0072】

この他にも、吸気バルブが1気筒あたり複数取り付けられている気筒における片側バルブ停止や、既存インジェクタまたは追加インジェクタによる筒内へのガス噴射等を用いて、気筒別に流動を強化しても良い。

次に、圧縮比を変更する場合について説明する。

20

圧縮比が大きいほど、理論熱効率が向上するが、ノッキングが発生する確率が高まる。そこで一般的に、運転状態により圧縮比を変更可能な可変圧縮比機構が用いられる。しかし、可変圧縮比機構の機械的誤差や、実圧縮比のセンシング誤差などにより、ターゲット圧縮比に対して実圧縮比がばらつく恐れがある。ターゲット圧縮比に比べて実圧縮比が高い場合、ノッキング発生によるエンジン破壊の恐れがあるため、圧縮比のM A P値は、ノッキング限界から安全代を取り、低圧縮比側に設定される。一方で、ターゲット圧縮比に比べて実圧縮比が低い場合、理論熱効率の低下により、燃費が悪化してしまう。

【0073】

ここで、実圧縮比とM B T位置の関係を整理すると、実圧縮比がターゲット圧縮比に比べ高い場合、圧縮上死点付近における混合気の温度が上昇し、燃焼速度が増加するため、その分点火時期を遅らせることができ、M B Tが遅角方向にずれる。また、実圧縮比がターゲット圧縮比に比べ低い場合、燃焼速度が低下するため、M B Tが進角方向に移動する。

30

【0074】

そこで、各気筒で推定したM B Tが、点火時期M A P値に対して進角している場合は、実圧縮比がターゲット圧縮比に比べて低い方向にずれていると判断し、ターゲット圧縮比を増加させる。すると、燃焼速度の増加によりM B T位置が遅角し、点火時期M A P値に近づく。逆に、各気筒で推定したM B Tが、点火時期M A P値に対して遅角している場合、ターゲット圧縮比を低下させる。すると、燃焼速度の低下によりM B T位置が進角し、点火時期M A P値に近づく。

40

【0075】

このように、推定したM B Tに対して圧縮比を変更することで、各気筒においてターゲット圧縮比に近い実圧縮比での燃焼が可能となり、圧縮比の制御誤差による理論熱効率の低下が抑えられ、燃費低減が可能となる。

なお、本発明は上記した実施例に限定されるものではなく、様々な変形例が含まれる。例えば、上記した実施例は本発明を分かりやすく説明するために詳細に説明したものであり、必ずしも説明した全ての構成を備えるものに限定されるものではない。また、ある実施例の構成の一部を他の実施例の構成に置き換えることが可能であり、また、ある実施例の構成に他の実施例の構成を加えることも可能である。また、各実施例の構成の一部につい

50

て、他の構成の追加・削除・置換をすることが可能である。

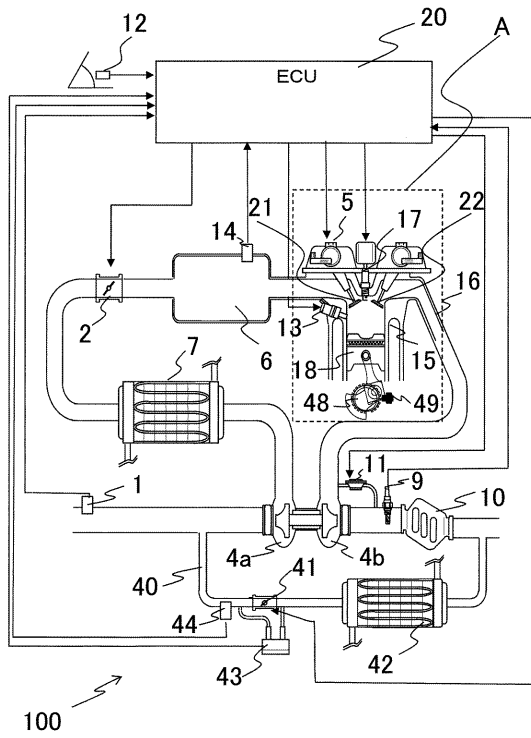
【符号の説明】

【 0 0 7 6 】

1 ... エアフローセンサ	
2 ... 電子制御スロットル	
4 ... 過給機	
4 a ... コンプレッサ	
4 b ... タービン	
5 a ... 吸気側可変バルブタイミング機構	
5 b ... 排気側可変バルブタイミング機構	10
6 ... 吸気管	
7 ... インタークーラ	
9 ... 空燃比センサ	
1 0 ... 三元触媒	
1 1 ... ウェイストゲート弁	
1 2 ... アクセル開度センサ	
1 3 ... 筒内直接燃料噴射用インジェクタ	
1 4 ... 吸気圧力センサ	
1 5 ... シリンダ	
1 6 ... 排気管	20
1 7 ... 点火プラグ	
1 8 ... ピストン	
1 9 a、1 9 b ... 筒内圧力センサ	
2 0 ... E C U	
2 1 ... 吸気バルブ	
2 2 ... 排気バルブ	
4 0 ... E G R 管	
4 1 ... E G R 弁	
4 2 ... E G R クーラ	
4 3 ... 差圧センサ	30
4 4 ... E G R 温度センサ	
4 5 ... インタークーラパイパス弁 A	
4 6 ... インタークーラパイパス弁 B	
4 7 ... インタークーラパイパス流路	
4 8 ... クランク軸	
4 9 ... クランク角度センサ	
1 0 0 ... エンジン	

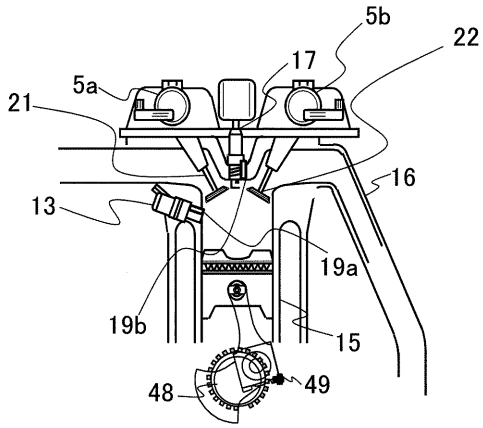
【図1】

図1



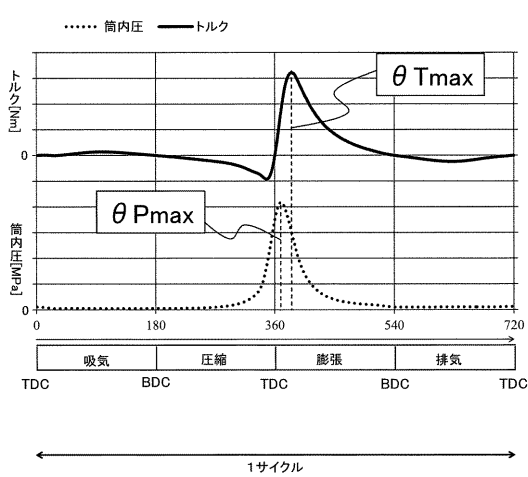
【図2】

図2



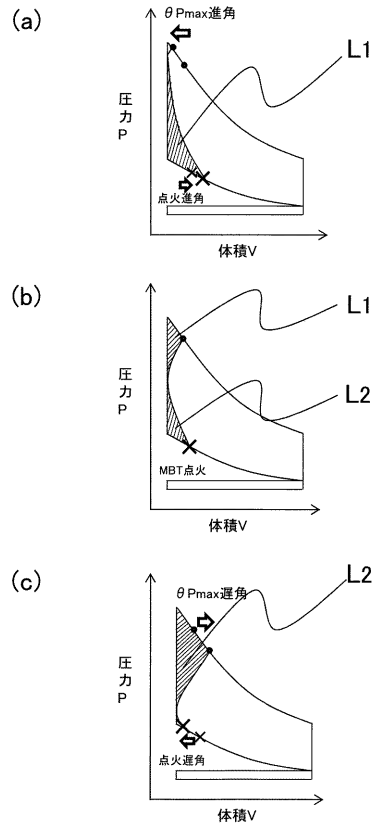
【図3】

図3



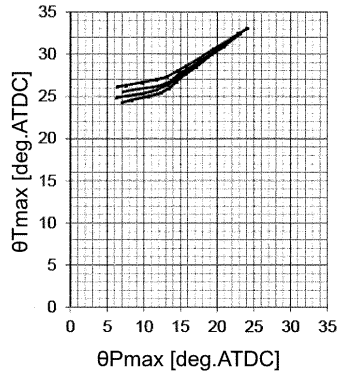
【図4】

図4



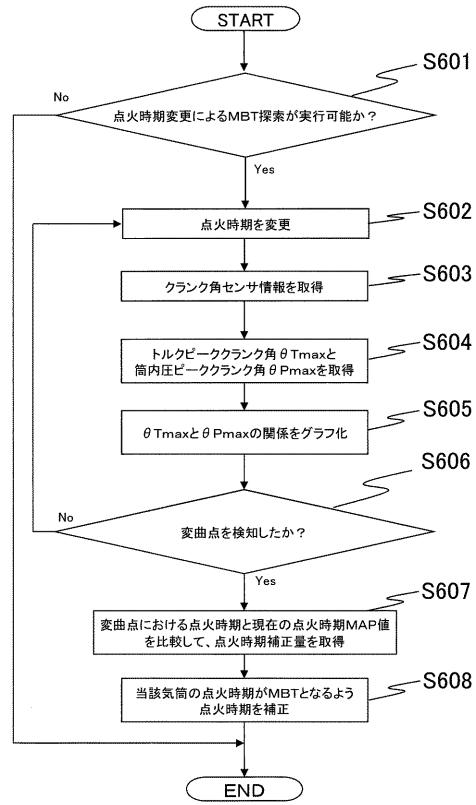
【図5】

図5



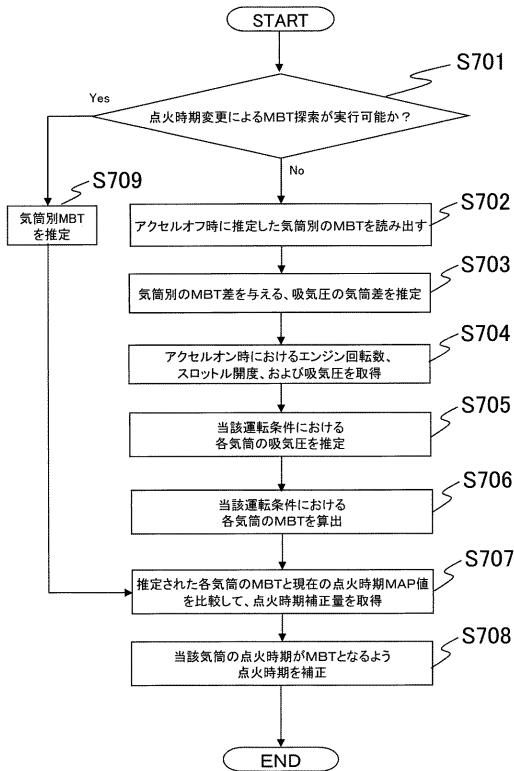
【図6】

図6



【図7】

図7





## フロントページの続き

(51)Int.Cl.		F I		
<i>F 0 2 D</i>	<i>15/00</i>	<i>(2006.01)</i>	<i>F 0 2 D</i>	<i>43/00</i> <i>3 0 1 J</i>
<i>F 0 2 M</i>	<i>26/06</i>	<i>(2016.01)</i>	<i>F 0 2 D</i>	<i>43/00</i> <i>3 0 1 N</i>
			<i>F 0 2 D</i>	<i>43/00</i> <i>3 0 1 S</i>
			<i>F 0 2 D</i>	<i>45/00</i>
			<i>F 0 2 D</i>	<i>41/02</i>
			<i>F 0 2 P</i>	<i>5/15</i> <i>G</i>
			<i>F 0 2 P</i>	<i>5/15</i> <i>E</i>
			<i>F 0 2 D</i>	<i>15/00</i> <i>Z</i>
			<i>F 0 2 M</i>	<i>26/06</i> <i>3 1 1</i>

- (56)参考文献 特開2007-332934 ( J P , A )  
 特開2010-1745 ( J P , A )  
 特開2001-98991 ( J P , A )  
 特開2001-82303 ( J P , A )  
 特開平1-216074 ( J P , A )  
 国際公開第2014/002189 ( WO , A 1 )

## (58)調査した分野(Int.Cl. , D B名)

*F 0 2 B 4 7 / 0 8 - 4 7 / 1 0*  
*F 0 2 D 1 3 / 0 0 - 2 8 / 0 0*  
*4 1 / 0 0 - 4 5 / 0 0*  
*F 0 2 M 2 6 / 0 0 - 2 6 / 7 4*  
*F 0 2 P 5 / 1 4 5 - 5 / 1 5 5*