

(19) 日本国特許庁 (JP)

(12) 特 許 公 報 (B2)

(11) 特許番号
特許第5394196号
(P5394196)

(45) 発行日 平成26年1月22日 (2014. 1. 22)

(24) 登録日 平成25年10月25日 (2013. 10. 25)

(51) Int. Cl.

F I

FO2P 5/15 (2006.01)

FO2D 45/00 (2006.01)

FO2P 5/15 Z

FO2D 45/00 372Z

請求項の数 5 外国語出願 (全 15 頁)

(21) 出願番号	特願2009-249129 (P2009-249129)	(73) 特許権者	591007826
(22) 出願日	平成21年10月29日 (2009. 10. 29)		イエフベ エネルジ ヌヴェル
(65) 公開番号	特開2010-116917 (P2010-116917A)		I F P E N E R G I E S N O U V E L
(43) 公開日	平成22年5月27日 (2010. 5. 27)		L E S
審査請求日	平成24年8月15日 (2012. 8. 15)		フランス国 9 2 8 5 2 リュエイユ マ
(31) 優先権主張番号	0806058		ルメゾン セデックス アヴニユ ド ボ
(32) 優先日	平成20年10月31日 (2008. 10. 31)		ワープレオ 1 エ 4
(33) 優先権主張国	フランス (FR)	(74) 代理人	100123788
			弁理士 宮崎 昭夫
		(74) 代理人	100106138
			弁理士 石橋 政幸
		(74) 代理人	100127454
			弁理士 緒方 雅昭

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 燃焼タイミング制御を使用して火花点火機関の燃焼を制御する方法

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

火花点火機関の燃焼を制御する方法であって、
一 燃焼室内のガスと燃料の混合物の燃焼に関連付けられた物理パラメータの設定値と、前記混合物の点火クランク角の設定値が求められ、前記設定値としては、燃焼を最適化するような値が求められ、
一 前記物理パラメータの値が前記設定値に等しくなるように、機関制御システムがアクチュエータを制御する方法において、
一 消費される燃料質量の経時的な変化を微分方程式によってモデル化する燃焼モデルによって、燃料の y % が燃焼中に消費されるクランク角 $C A y$ が最適化された燃焼についてのこの角度の設定値に等しくなるように、点火クランク角の前記設定値に適用すべき補正值 $d \theta_{all}$ を算出することによって、前記物理パラメータがそれらの設定値に達する前に点火クランク角の設定値を補正することと、
一 前記機関制御システムが、最適な燃焼を維持するために、前記クランク角が前記補正点火クランク角設定値に等しいときに前記燃焼室内の前記混合物の点火を制御することとを含む、

前記補正值 $d \theta_{all}$ は、前記物理パラメータの実値 p と前記物理パラメータの前記設定値 p^{ref} との差 $d p$ を考慮することによって求められ、

前記補正值 $d \theta_{all}$ は、前記燃焼モデルを設定値 p^{ref} を中心とする p に線形化し、次に、補正值 $d \theta_{all}$ が前記差 $d p$ に比例するように導くべき前記補正值の一次解を算出する

10

20

ことによって求められることを特徴とする方法。

【請求項 2】

- 前記補正值 $d\theta_{all}$ が、
- －前記物理パラメータの前記実値を求める段階と、
 - －前記実値と前記設定値の前記差 dp を算出する段階と、
 - －前記モデルの各パラメータにその設定値を割り当てることにより前記燃焼モデルの数値積分法によってクランク角 CA_y の前記設定値を求める段階と、
 - －燃焼モデルを設定値 p^{ref} を中心とする p に線形化することによって燃焼モデルの線形化行列 Λ を算出する段階と、
 - －以下の公式、すなわち、

【数 1】

$$d\theta_{all} = ((CA_y)_{ref} - (\theta_{all})_{ref}) \Lambda dp$$

によって補正值 $d\theta_{all}$ を算出する段階とを適用することによって求められ、

$(\theta_{all})_{ref}$ は前記混合物の前記点火クランク角の前記設定値であり、 $(CA_y)_{ref}$ はクランク角 CA_y の前記設定値である、請求項 1 に記載の方法。

【請求項 3】

クランク角 CA_y は、燃焼中に前記燃料の 50% が消費されるクランク角である、請求項 1 または 2 に記載の方法。

【請求項 4】

前記物理パラメータは、弁が閉じられたときには少なくとも以下のパラメータ、すなわち、前記燃焼室内の圧力 (P_{IVC})、前記燃焼室内の温度 (T_{IVC})、前記燃焼室内の既燃ガス質量と全ガス質量との比 (X_{IVC})、前記気筒内の空気質量 (M_{IVC})、および吸気弁の閉角度 (θ_{ivc}) から選択される、請求項 1 から 3 のいずれか 1 項に記載の方法。

【請求項 5】

前記物理パラメータがそれらの設定値に達する前に前記燃焼室内に噴射される燃料の質量も、前記リッチ燃焼を制御することによって適合させられる、請求項 1 から 4 のいずれか 1 項に記載の方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、機関制御の分野に関し、特に火花点火機関の燃焼制御に関する。

【背景技術】

【0002】

(ガソリン式) 火花点火機関の動作は、空気と既燃ガスと燃料との混合物の燃焼に基づく動作である。機関周期は 4 つの相に分類することができる (図 1)。

－吸気相 (ADM)：吸気弁は、空気と既燃ガスの混合物をチャンバ CHB 内に入れるのを可能にする。空気は機関の外部環境から取り込まれる。既燃ガスは排気マニフォールド ECH から取り込まれ、吸気マニフォールドに送り返され (排気ガス再循環 EGR) および／または排気弁によって吸い戻される (内部排気ガス再循環 iEGR)。燃料は、吸気相中に噴射される。可変弁タイミング (VVT) 装置が、吸気弁リフトプロファイル (VVTa) および排気弁リフトプロファイル (VVT e) に時間遅れを適用するのを可能にする。このことは、ガスの組成および燃焼室内の乱流に直接影響を与える。

－圧縮相：吸気弁が閉じた後 (IVC：吸気弁閉動作)、ピストン PIS がガスを圧縮する。

－燃焼相：点火プラグ BOUG が、空気と、既燃ガスと、燃料において得られる化学エネルギーを放出しながら発火し、したがって、ピストンを後方に押す過圧を発生させる燃料との混合物の燃焼を開始する火花を生じさせる。

－膨張相：ピストンが再び下降し始めるとすぐに、排気弁が開き、次にガス混合物が排気

10

20

30

40

50

マニフォルドを通して排出される。

【0003】

機関制御の目的は、騒音および汚染物質の放出を最小限に抑えつつ運転者に必要なトルクを供給することである。したがって、様々なガスおよび燃料の量の制御をできるだけ細かく調整する必要がある。

【0004】

火花点火機関の燃焼制御を実施するにあたって、機関に取り付けられた検出器によって燃焼媒体を判定するのを可能にする公知の方法がある。以下によって行われる測定のような燃焼室内の直接的な測定に基づく方法がある。

－気筒圧力検出器：非特許文献1参照

10

－燃焼室内のイオン化電流検出器：非特許文献2参照

しかし、標準的な車両でこのような検出器を使用するのは、かなりのコストがかかるため困難である。さらに、これらの検出器は一般に、比較的高速のドリフトの影響を受けやすい。

【0005】

各量およびタイミングが、各静的作用点（速度およびトルク）に対して各点で理想的な方法が実施されるように最適化される方法もある。したがって、以下の主要な3つのデータセットの最適値が得られるように機関試験のベンチ較正が行われる。

空気ループ：

－燃焼室に必要な空気 M_{air} および既燃ガス M_{gb} の質量

20

－燃焼室内でのこれらのガスの圧力および温度

－可変弁リフト装置（VVT）の位置、特に θ_{ivc} で示される吸気弁の閉角度

これらの熱力学的変数および物理変数 $X_{air} = (M_{air}, M_{bg}, P, T, \theta_{IVC})$ は X_{air} で代表される。

燃料ループ：

燃焼室内に噴射される（チャンバ内への直接的な噴射または吸気管内への間接的な噴射）燃料 M_f の質量、 $X_{fuel} = (M_f)$ 。

点火ループ：

$X_{all} = (\theta_{all})$ で表される、（プラグを介して）火花が生じるクランク角 θ_{all} 。

【0006】

30

しかし、このような方法は遷移相では不十分である。すなわち、作用点から別の作用点までの遷移相（車両速度または路面形状の変化）の間、機関制御は、機関に存在する様々なアクチュエータを監視し、騒音、汚染物質の排出、および消費量を最小限に抑えつつ所望のトルクを確保する。したがって、これは、初期点の各パラメータの値から最終点の各パラメータの値への変化に変換される。

【0007】

【数1】

$$\begin{cases} X_{air}^{initial} \rightarrow X_{air}^{final} & (a) \\ X_{fuel}^{initial} \rightarrow X_{fuel}^{final} & (b) \\ X_{all}^{initial} \rightarrow X_{all}^{final} & (c) \end{cases}$$

40

【0008】

次に、機関には2つのタイムスケールがある。より高速のタイムスケール（50Hz）は、燃焼現象全体（1機関周期）に相当する。このスケールでは、噴射（ X_{fuel} ）および点火（ X_{all} ）方法を変更して燃焼を制御することができる。より低速のタイムスケール（1Hz）は、機関マニフォールド（吸気、排気、既燃ガス再循環）内の気体力学およびアクチュエータ（ターボ圧縮機TC）の慣性に相当する。この空気ループ（ X_{air} ）の方法はより高速に変更することはできない。

50

【先行技術文献】

【非特許文献】

【0009】

【非特許文献1】Paljoo Yoon et al., "Closed-loop Control of Spark Advance and Air-fuel Ratio in SI Engines Using Cylinder Pressure", Society of Automotive Engineering World Congress, 2000-01-0933

【非特許文献2】Lars Eriksen et al., "Closed loop Ignition Control by Ionization Current Interpretation", SAE 1997 Transactions, Journal of Engines, Vol. 106, Section 3, pp. 1216-1223, 1997

【発明の概要】

10

【発明が解決しようとする課題】

【0010】

したがって、現在の方法では、この力学の相違のために、各被制御変数 (X_{air} , X_{fuel} , X_{all}) がその設定値に同時に達することはない。したがって、静止相ではトルクの生成、消費量、汚染物質、および騒音に関する目標が満たされ（動的ループがその基準値で安定化される）、もし遷移相では予防策が講じられないなら、パラメータの一部がほぼ瞬間的にその最終設定値に達する。一方で他の部分は依然として初期設定値である。したがって、機関は、より多くの汚染物質を放出するかまたはより大きい騒音を発し、場合によっては停止する。

【0011】

20

さらに、気筒圧力検出器がない場合、公知の方法では、遷移相中に燃焼タイミングを制御することはできない。次に、図2および3に示されているように、これは、非定常条件の下で機関を適切に動作させるのに十分ではない。

【0012】

本発明の目的は、従来技術の問題を解消しつつ、特に非定常条件の下での火花点火機関の燃焼を制御する方法に関する。この方法は、一方では3つの動的ループを別個に制御し、他方では、角度 CA_{50} の制御を介して点火角度の基準値を補正することによってこの目的を実現する。

【課題を解決するための手段】

【0013】

30

本発明は、火花点火機関の燃焼を制御する方法であって、燃焼室内のガスと燃料の混合物の燃焼に関連付けられた物理パラメータの設定値、および混合物の点火クランク角の設定値 (θ_{all})_{ref} であって、燃焼を最適化するように定められた各設定値を求めることと、機関制御システムが、物理パラメータの値が設定値に等しくなるようにアクチュエータを制御することを含む方法に関する。

【0014】

この方法は、以下の段階、すなわち、

燃焼中に燃料の $y\%$ が消費されるクランク角 CA_y が、最適化された燃焼に関してこの角度の設定値に等しくなるように設定値 (θ_{all})_{ref} に適用すべき補正值 $d\theta_{all}$ を算出することによって物理パラメータがその設定値に達する前に設定値 ($(\theta_{all})_{ref}$) を補正する段階と、

40

機関制御システムが、最適な燃焼を維持するために、クランク角が補正設定値 (θ_{all})_{ref} に等しいときに燃焼室内の混合物の点火を制御する段階とを含む。

【0015】

本発明によれば、補正值 $d\theta_{all}$ は、物理パラメータの実値 p と物理パラメータの設定値 p^{ref} との差 dp を考慮することによって求めることができる。したがって、消費された燃料の質量の経時的な変化をモデル化するのを可能にする微分方程式によって定義された燃焼モデルを使用し、この燃焼モデルを、設定値 p^{ref} を中心とする p に線形化し、次に、補正值 $d\theta_{all}$ が差 dp に比例するように導くべき補正值の一次解を算出することにより可能である。

50

【0016】

したがって、一実施態様によれば、補正值 $d\theta_{all}$ は、以下の段階、すなわち、
 ー物理パラメータの実値を求める段階と、
 ー実値と設定値の差 dp を算出する段階と、
 ーモデルの各パラメータにその設定値を割り当てることにより燃焼モデルの数値積分法によってクランク角 CA_y の設定値 $(CA_y)_{ref}$ を求める段階と、
 ー燃焼モデルを、設定値 p^{ref} を中心とする p に線形化することによって燃焼モデルの線形化行列 Λ を算出する段階と、
 ー以下の公式、すなわち、

【0017】

10

【数2】

$$d\theta_{all} = ((CA_y)_{ref} - (\theta_{all})_{ref}) \Lambda dp$$

【0018】

によって補正值 $d\theta_{all}$ を算出する段階とを適用することによって求めることができる。

【0019】

好ましい実施態様によれば、クランク角 CA_y は、燃焼中に燃料の50%が消費されるクランク角である。

【0020】

本発明によれば、物理パラメータは、弁が閉じられたときには少なくとも以下のパラメータ、すなわち、燃焼室内の圧力 (P_{IVC})、燃焼室内の温度 (T_{IVC})、燃焼室内の既燃ガス質量と全ガス質量との比 (X_{IVC})、気筒内の空気質量 (M_{IVC})、および吸気弁の開角度 (θ_{ivc}) から選択することができる。

20

【0021】

最後に、リッチ燃焼を制御することによって、物理パラメータがそれらの設定値に達する前に、燃焼室内に噴射される燃料の質量を適合させることも可能である。

【図面の簡単な説明】

【0022】

【図1】花火点火機関の燃焼周期の様々な相を示す図である。

【図2】3つの燃焼制御状況、すなわち、(安定化された相で実施される) 最適制御、 CA_{50} 制御を伴わない遷移相における現在の制御、 CA_{50} 制御を伴う遷移相における所望の制御によるクランク角の関数としての燃焼の経時変化を示す図である。

30

【図3】図2で説明した3つの状況についてのクランク角 θ の関数としての3本のエネルギー放出曲線 Q を示す図である。

【図4】点火角度の補正值 $d\theta_{all}$ の算出方式を示す図である。

【発明を実施するための形態】

【0023】

本発明による方法は、静止相と遷移相において花火点火機関の燃焼進行を制御するのを可能にする。この方法は、空気ループと整合するように高速ループ力学を適合させることによって空気ループ(低速ループ)と燃料ループおよび点火ループ(高速ループ)とを別個にかつ独立に制御することを含む。したがって、この方法は、(運転者のトルク要求によって) 要求された燃焼の特性を維持するように X_{fuel} および X_{all} を適合させるのを可能にする。したがって、運転者に要求されたトルクを確保しつつ、排出物および騒音に対する影響が制限される。

40

【0024】

この方法によれば、花火点火機関の燃焼の制御は5つの段階で実施される。

【0025】

1 様々な物理パラメータの設定値を求める

ある作用点から別の作用点までの遷移相(車両速度または路面形状の変化)の間、機関制御は、機関に存在する様々なアクチュエータを監視し、騒音、汚染物質の放出、および

50

消費量を最小限に抑えつつ所望のトルクを確保する。したがって、これは、初期点のパラメータ X_{air} 、 X_{fuel} 、および X_{all} の値から最終点の各パラメータの値への変化に変換される。

【0026】

【数3】

$$\begin{cases} X_{air}^{initial} \rightarrow X_{air}^{final} & (a) \\ X_{fuel}^{initial} \rightarrow X_{fuel}^{final} & (b) \\ X_{all}^{initial} \rightarrow X_{all}^{final} & (c) \end{cases}$$

10

【0027】

騒音を最小限に抑えつつ排出および消費量を最小限に抑えるために、最終値は、燃焼を最適化し、すなわち、最大量の燃料を燃焼させるように定められる。燃焼を最適化するこれらの最終値は設定値と呼ばれる。機関制御は、これらの設定値を向上させるものである。

【0028】

空気ループによって規制される重要な物理パラメータは、チャンバ内のガスの圧力、温度、化学組成と、吸気弁閉角度である。理想的には、これらのパラメータはその設定値に瞬間的に達する。実際には、空気ループが低速であるため、遷移相全体にわたってこれらのパラメータ X_{air} に関する設定値と実値との誤差が生じる。したがって、気筒に吸入される供給ガスの熱力学的パラメータ（質量、圧力、温度、および既燃ガス流量）はその設定値とは異なる。燃料および点火ループ制御は、以下のパラメータに対する誤差に適合させられる。

20

【0029】

－P：燃焼室内の圧力。この圧力はクランク角 θ によって決まる。

【0030】

－T：燃焼室内の温度。この温度はクランク角 θ によって決まる。

【0031】

－X：燃焼室内の既燃ガス質量と全ガス質量との比（0と1の間のパラメータ）。この比はクランク角 θ によって決まる。

30

【0032】

－ M_{air} ：気筒内に閉じ込められた空気の質量

弁が閉じられたとき（IVC）のこれらのパラメータの値は区別される。

【0033】

－ P_{IVC} ：弁が閉じられたときの燃焼室内の圧力

－ T_{IVC} ：弁が閉じられたときの燃焼室内の温度

－ X_{IVC} ：弁が閉じられたときの燃焼室内の既燃ガス質量と全ガス質量との比

－ M_{IVC} ：弁が閉じられたときの気筒内の空気の質量

－ θ_{IVC} ：吸気弁の閉角度；閉角度は、燃焼室内の乱流に直接影響を及ぼす。

【0034】

40

この5つのパラメータの値は連続的に求められる。したがって、弁が閉じられたときの気筒内の組成（ X_{IVC} ）および圧力（ P_{IVC} ）は、（検出器または推定器によって）測定値が得られる吸気マニフォールドの組成および圧力と同じであると仮定する。理想気体法則 $T_{IVC} = P_{IVC} V_{IVC} / R M_{IVC}$ によって T_{IVC} を推定する。この式で、Rは理想気体定数（ $R = 287$ ）であり、 M_{IVC} は、流量計によって測定される、気筒によって吸入される質量である。

【0035】

機関の燃焼室内の気体酸化性物質の吸入に関連付けられたこれらの5つのパラメータについて、設定値の値はそれぞれ P_{ref} 、 T_{ref} 、 X_{ref} 、 M_{ref} 、および $(\theta_{IVC})_{ref}$ によって示される。

50

【0036】

これらの設定値は、機関の試験ベンチ上に確立される設定値マップから得られ、これらのパラメータの設定値は、試験ベンチ上にマップされる最適値（これらのパラメータが達しなければならない値）によって与えられる。これらの設定値は、燃焼を最適化するために求められる。これらのパラメータは、理想気体関係（ $PV = MRT$ ）によって関係付けられるが、説明を簡単にするため、この関係については直接明示しない。このことが、提供される方法に何らかの影響を及ぼすことはない。

【0037】

本発明によれば、制御されるパラメータは混合物点火角度： θ_{all} である。このパラメータの基準値（試験ベンチ上にマップされる最適値によって与えられる）は $(\theta_{all})_{ref}$ によって表される。一定に維持されるパラメータはクランク角 CA_y 、すなわち、燃焼中に燃料の $y\%$ が消費される角度である。この角度は、最適な燃焼が行われるようにこの角度の設定値 $(CA_y)_{ref}$ に維持される。好ましい実施形態によれば、2分の1の燃焼角度 CA_{50} が使用される。この燃焼角度は、最適化された燃焼（設定値によって得られる燃焼）中に燃料の50%が消費されたクランク角である。

10

【0038】

2-空気ループ制御（低速ループ）

設定値 P_{ref} 、 T_{ref} 、 X_{ref} 、 M_{ref} 、および $(\theta_{ivc})_{ref}$ が求められると、機関制御システムは、物理パラメータ P_{IVC} 、 T_{IVC} 、 X_{IVC} 、および θ_{ivc} の値がその設定値 P_{ref} 、 T_{ref} 、 X_{ref} 、 M_{ref} 、および $(\theta_{ivc})_{ref}$ に等しくなるようにアクチュエータを制御する。

20

【0039】

3-燃料ループ適合（高速ループ）

噴射される燃料質量の制御を空気ループの力学に適合させることは従来、リッチ燃焼を制御することによって実現されており、すなわち、ガソリン機関からの排気ガスの汚染除去は3元触媒によって行うことができる。3元触媒は、排気ガスが大域的に酸化性でも還元性でもないならば、燃焼によって生成される CO 、 HC 、および NO_x を効率的に処理するのを可能にする。リッチ燃焼（ λ ）は、化学量論的燃焼の場合（この化学量論比は PCO によって示される）と同じ比にされた、燃料質量 M_f に関して過剰空気質量 M_{air} と定義される。したがって、 $\lambda = M_f / M_{air} \cdot 1 / PCO$ が得られる。したがって、汚染除去は、リッチネスが1に近いときに効率的になる。したがって、噴射される燃料質量の制御手順は、空気ループパラメータからの、気筒に吸入される空気質量の概算に要約される。この場合、空気質量 M_{air} の概算は、コマンド $M_f = 1 / PCO \cdot M_{air}$ を適用することを可能とする。

30

【0040】

4-点火ループ適合

a. 点火角度設定値 $(\theta_{all})_{ref}$ の補正值の算出

点火角度 θ_{all} についての従来の制御手順では、機関速度および（マッピングを介した）気筒内に吸入される空気質量の概算に応じて事前に位置決めが行われる。燃料質量制御とは異なり、この手順は最適ではない。すなわち、噴射される燃料質量がトルクポテンシャルを与える場合、このポテンシャルの有効利用を保証するのは点火タイミングである。一点火が早すぎる場合、燃焼が起こるのも早くなり、圧縮相中に圧力が上昇し、トルクの発生を妨げる。

40

一点火が遅すぎる場合、燃焼が起こるのも遅くなり、膨張相全体がより低い圧力で生じる。この場合、発生するトルクが低くなる。

【0041】

CA_{50} （燃料の50%が燃焼するクランク角）は、この燃焼タイミングを考慮するのを可能にするクランク角である。従来、各機関は、機関の技術的データに応じて一定のクランク角 $(CA_{50})_{ref}$ を有することができる。そして、 CA_{50} がその基準値 $(CA_{50})_{ref}$ に規制される場合に点火手順は最適なものになる。

50

【0042】

したがって、点火角度を最適に制御するには、燃焼に影響を及ぼすすべての熱力学パラメータおよび物理パラメータを考慮に入れる必要がある。したがって、機関速度および吸入空気質量に応じて従来の点火角度の事前の位置決めは、空気ループの低速パラメータに対する点火のループの適応の最初であるが、完全なものではない。すなわち、空気ループの他のパラメータ、すなわち、

- －燃焼室内の圧力
 - －燃焼室内の温度
 - －燃焼室内の既燃ガス流量
 - －燃焼室内の乱流（ θ_{ivc} を介する）
- も燃焼に影響を与える。

10

【0043】

空気ループの制御が完全である場合、5つのパラメータ P_{IVC} 、 T_{IVC} 、 X_{IVC} 、 M_{IVC} 、および θ_{ivc} は瞬間的にそれら基準値 P_{ref} 、 T_{ref} 、 X_{ref} 、 M_{ref} 、および $(\theta_{ivc})_{ref}$ に達する。実際には、遷移相では、パラメータ P_{IVC} 、 T_{IVC} 、 X_{IVC} 、 M_{IVC} 、および θ_{ivc} はそれらの基準値とは異なる。したがって、弁が閉じられたときの気筒の内容物は、点火手順がマッピングされた基準内容物とは異なる。

【0044】

基準燃焼（最適化された燃焼）にできるだけ近い燃焼を維持するように点火角度を修正するために、弁が閉じられたときのこれらのパラメータの誤差を考慮に入れる必要がある。

20

- －pベクトル（ P_{IVC} ； T_{IVC} ； M_{IVC} ； X_{IVC} ； θ_{ivc} ）；
 - － p^{ref} ベクトル（ P_{ref} ； T_{ref} ； M_{ref} ； X_{ref} ； $(\theta_{ivc})_{ref}$ ）；
 - －dpベクトル $p - p^{ref} = (dP ; dT ; dM ; dX ; d\theta_{ivc})$ ；
- この場合、 $dP = P_{IVC} - P_{ref}$ 、 $dT = T_{IVC} - T_{ref}$ 、 $dM = M_{IVC} - M_{ref}$ 、 $dX = X_{IVC} - X_{ref}$ 、および $d\theta = \theta_{ivc} - (\theta_{ivc})_{ref}$ が成立する。

【0045】

したがって、角度 CA_{50} がその基準値（ $dCA_{50} = CA_{50} - (CA_{50})_{ref} = 0$ ）になるように新しい補正点火角度 $(\theta_{all})_{ref} + d\theta_{all}$ が求められる。したがって、（3つの状況については図2および3を参照されたい）：

30

- －誤差がない場合、すなわち、すべてのパラメータがそれらの基準値に達した場合（ $dp = 0$ ）、ちょうど基準作用点の状況であり、したがって、 $d\theta_{all} = 0$ が成立する（状況1）。
- －パラメータがそれらの基準値に達していない場合（ $dp \neq 0$ ）、燃焼速度は基準燃焼の燃焼速度と同一ではない。したがって、燃焼の位相ずれが生じ、角度 CA_{50} はそれらの基準値に達していない（状況2）。
- －したがって、誤差 $dp \neq 0$ を相殺するために、同じ位相の CA_{50} が得られるように点火角度に角度補正值 $d\theta \neq 0$ が導入される（状況3）。

【0046】

図2は、3つの状況による燃焼の経時変化を示している。状況ごとに、水平軸はクランク角 θ を表す。これらの軸は、点火角度の設定値 $(\theta_{all})_{ref}$ 、点火角度 θ_{all} 、および補正項 $d\theta_{all}$ を有している。図3は、上述の3つの状況（図2）についてのクランク角 θ の関数としての3本のエネルギー放出曲線 Q を示している。

40

【0047】

補正值 $d\theta_{all}$ を求めるため、燃焼系のモデル化が行われる。特定の実施形態によれば、燃焼によって消費される燃料の質量の経時的な変化をモデル化するのが可能にする微分方程式によって定義された燃焼モデルを使用することが可能である。したがって、このような燃焼モデルは、以下のようにコンパクトな形式で記すことができる（付録1はこのような燃焼モデルを示している）。

【0048】

50

【数 4】

$$\begin{cases} \frac{dx}{d\theta} = f(x, y, p, \theta) \\ \frac{dy}{d\theta} = g(x, y, p, \theta) \\ x(\theta_{all}) = 0 \\ y(\theta_{all}) = h(p) \\ \theta \in [\theta_{all}, CA_{50}] \end{cases}$$

10

【0049】

上式で、

x：既燃燃料の質量分率（xは次元1×1を有する）

y：燃焼モデルに必要である力学の他の変数（圧力、温度、、、）。yは次元1×nを有し、この場合、n∈である。

【0050】

p：遷移相中に補償すべき空気ループのパラメータ

pは次元1×nを有し、この場合、n∈である。

【0051】

 θ_{all} ：混合物点火角度

20

f、g、およびhは全体的に公知の関数である（たとえば、付録1を参照されたい）。

【0052】

本発明による点火角度制御方法が微分方程式形態で任意の燃焼モデルに適用できることに留意されたい。

点火角度設定値（ θ_{all} ）_{ref}の補正值の推定補正值の計算は、差分dpを導入することによって燃焼モデルを基準値p^{ref}を中心とするpに線形化することによって行われる。

【0053】

燃焼モデルの複雑な形態を考えると、補正值d θ_{all} の分析式を求めることは困難である。したがって、導くべき補正值の一次解が求められる。このため、補正值は空気ループ誤差dpに比例する。

30

【0054】

補正值は以下のように得られる。

－2つの変数pおよび θ_{all} に対する微分方程式（1）の感度分析が行われる。したがって、それらの基準値を中心とするpおよび θ_{all} のあらゆる変分に連続する微分方程式（dx，dy）の状態の一次変分が得られる。－誤差dpおよび補正值d θ_{all} が存在する場合、CA₅₀が影響を受けるはずはないという事実（dCA₅₀=0）が、状態の感度に対する条件x：dx（ θ_{all} ）=0に変換される。したがって、dpおよびd θ_{all} が現れる数式が得られる。この数式を反転することによって、dpおよびモデルに存在するすべての変数の関数としてd θ_{all} の数式が得られる。

40

【0055】

得られる補正值は次式のように書かれる。

【0056】

【数 5】

$$d\theta_{all} = ((CA_{50})_{ref} - (\theta_{all})_{ref}) \Delta dp$$

【0057】

この場合、次式が成立する。

50

【0058】

【数6】

$$\Lambda = \frac{\int_{(\theta_{all})_{ref}}^{(CA_{50})_{ref}} \Gamma(\theta)^T \begin{pmatrix} B^{11}(\theta) \\ B^{21}(\theta) \end{pmatrix} d\theta + \Gamma((\theta_{all})_{ref})^T \begin{pmatrix} 0 \\ \frac{dg}{dp}(p^{ref}) \end{pmatrix}}{\int_{(\theta_{all})_{ref}}^{(CA_{50})_{ref}} \Gamma(\theta)^T \begin{pmatrix} B^{12}(\theta) \\ B^{22}(\theta) \end{pmatrix} d\theta}$$

$$B^{11}(\theta) = \frac{\partial f}{\partial p}(x^{ref}, y^{ref}, p^{ref}, \theta)$$

10

$$B^{12}(\theta) = f(x^{ref}, y^{ref}, p^{ref}, \theta) + (\theta - (CA_{50})_{ref}) \frac{\partial f}{\partial \theta}(x^{ref}, y^{ref}, p^{ref}, \theta)$$

$$B^{21}(\theta) = \frac{\partial g}{\partial p}(x^{ref}, y^{ref}, p^{ref}, \theta)$$

$$B^{22}(\theta) = g(x^{ref}, y^{ref}, p^{ref}, \theta) + (\theta - (CA_{50})_{ref}) \frac{\partial g}{\partial \theta}(x^{ref}, y^{ref}, p^{ref}, \theta)$$

$$\Gamma(\theta) = \exp \left(\int_{(\theta_{all})_{ref}}^{(CA_{50})_{ref}} \begin{pmatrix} \frac{\partial f}{\partial x}(x^{ref}, y^{ref}, p^{ref}, \theta) & \frac{\partial g}{\partial x}(x^{ref}, y^{ref}, p^{ref}, \theta) \\ \frac{\partial f}{\partial y}(x^{ref}, y^{ref}, p^{ref}, \theta) & \frac{\partial g}{\partial y}(x^{ref}, y^{ref}, p^{ref}, \theta) \end{pmatrix} d\theta \right) \begin{pmatrix} 1 \\ 0 \end{pmatrix}$$

20

【0059】

b. 点火ループ適合（高速ループ）

機関制御システムは、最適な燃焼を維持するために、クランク角が補正設定値 $(\theta_{all})_{ref} + d\theta_{all}$ に等しいときに燃焼室内で燃料点火システムを駆動する。

【0060】

この方法の1つの利点は、空気ループの誤差が、行列 Λ を介して点火コマンドに適用される補正值に直接関係付けられることである。補正值は、完全に計算可能であり、燃焼モデル、基準値 P_{ref} 、 T_{ref} 、 X_{ref} 、および M_{ref} 、ならびに一定の数の公知の定数のみに依存する。

30

【0061】

上記の補正值を点火角度に適用することによって、角度 CA_{50} がその基準値になるようにすることができる（一次）。空気ループによって誤差 dP 、 dT 、 dM 、および dX が徐々に零に近くなっていき、したがって、安定化された静止相では補正值が消える。この制御方法は、図4に概略的に示されている。この図は、点火角度の補正值 $d\theta_{all}$ の計算方式を示している。パラメータ p の実値を推定または測定し（EST-ACT）、これらのパラメータの設定値 p^{ref} および $(\theta_{all})_{ref}$ を求めた（DET-CONS）後、燃焼モデルの線形化行列が算出される（CAL-MAT）。次に、以下の係数 $((CA_{50})_{ref} - (\theta_{all})_{ref}) \Lambda$ が算出される。

40

【0062】

したがって、 $(CA_{50})_{ref}$ の値（基準燃焼の燃焼角度の2分の1の値）が必要である。したがって、初期条件として基準値 p^{ref} および $(\theta_{all})_{ref}$ を有する微分系（1）（燃焼モデル）が使用される。以下の系が得られる。

【0063】

【数 7】

$$\begin{cases} \frac{dx^{ref}}{d\theta} = f(x^{ref}, y^{ref}, p^{ref}, \theta) \\ \frac{dy^{ref}}{d\theta} = g(x^{ref}, y^{ref}, p^{ref}, \theta) \\ x((\theta_{all})^{ref}) = 0 \\ y((\theta_{all})^{ref}) = h(p^{ref}) \\ \theta \in [(\theta_{all})^{ref}, (CA_{50})^{ref}] \end{cases}$$

10

【0064】

この系の数値積分法によって、 $x_{ref} = 0.5$ のときの角度 θ の値が求められる。この角度は $(CA_{50})_{ref}$ の値に相当する。

【0065】

最後に、補正值 $d\theta_{all}$ が算出される(CAL-COR)。

【0066】

【数 8】

$$d\theta_{all} = ((CA_{50})_{ref} - (\theta_{all})_{ref}) \Delta p$$

20

【0067】

したがって、本発明による方法は、3つの動的ループを別個に制御し、点火角度の基準値を補正することによって、花火点火機関の燃焼制御を確実に行うことを可能にする。この補正值としては、角度 CA_{50} がその基準値になるように求められ、基準燃焼(最適化された燃焼)と同じエネルギー放出が結果として得られる。

燃焼モデル

微分方程式によって定義される燃焼モデルの一例が以下の文献に提示されている。

—F.-A. Lafossas, et al., "Application of a new 1d combustion model to gasoline transient engine operation," in Proc. SAE World Congress, no. 2005-01-2107, 2005

30

このモデルは、(無限に薄い層としてモデル化された)火炎前面によって分離された2つのゾーン(既燃ゾーンおよび未燃ゾーン)内の気筒の体積を表している。燃焼全体にわたって、火炎は既燃ゾーンから未燃ゾーンまで伝播する。このモデルの数式は以下のとおりである。

【0068】

【数 9】

$$\left\{ \begin{array}{l}
 \frac{dx}{d\theta} = \frac{1}{N_e} \left(\frac{C_1 p_2}{V(t)^{\kappa\gamma+1}} y^{\kappa+1/\gamma} + \frac{C_2 p_1^{-1/\gamma} \sqrt{k(\theta, p_3)}}{V(t)} y^{1/\gamma} \tanh \left(\frac{1}{r_0} \left(\frac{3V_{fl}}{4\pi} \right)^{1/3} - 1 \right) \right) S_{geo}(V_{fl}, t) \\
 V_{fl} = \max(f_{vol}, V(\theta)(1 - (1-x)p_1^{1/\gamma} y^{-1/\gamma})) \\
 S_{geo}(V_{fl}, \theta) = \begin{cases} \sqrt[3]{36\pi} V_{fl}^{2/3} & \text{if } V_{fl} < \frac{\pi}{8} \left(\frac{V(\theta)}{A} \right)^3 \\ 2\sqrt{2\pi V_{fl} \frac{V(\theta)}{A} + \frac{4}{3}\pi^2 \left(\frac{V(\theta)}{A} \right)^4} & \text{if } V_{fl} > \frac{\pi}{8} \left(\frac{V(\theta)}{A} \right)^3 \end{cases} \\
 k(\theta, p_3) = C_3 p_4 \left(- \int_{p_3}^{\theta} \zeta'(z, p_3) e^{\frac{C_4}{N_e}(z-p_3)} dz + C_5 \right) e^{-\frac{C_4}{N_e}(\theta-p_3)} \\
 \zeta(\theta, p_3) = V(\theta)^2 \left(\frac{\theta - \theta_{TDC}}{p_3 - \theta_{TDC}} \right)^2 \delta_{\theta < \theta_{TDC}} \\
 \frac{dy}{d\theta} = Q_{LHV} M_f (\gamma - 1) V(\theta)^{\gamma-1} \frac{dx}{d\theta} \\
 x(\theta_{all}) = 0 \\
 y(\theta_{all}) = p_1
 \end{array} \right. \quad 10$$

【0069】

上式で、各記号は以下の数量を表す。

20

【0070】

【表 1】

記号	数量	単位
N_e	機関速度	rpm
θ	クランク角	(°)
θ_{ivc}	ivc時のクランク角	(°)
θ_{TDC}	ピストン上部位置でのクランク角	(°)
θ_{all}	混合物点火のクランク角	(°)
$V(\theta)$	気筒体積	m^3
V_{ivc}	ivc時の気筒体積	m^3
$P(\theta)$	気筒内圧力	Pa
P_{ivc}	ivc時の気筒内圧力	Pa
$T(\theta)$	混合物内温度	K
T_{ivc}	ivc時の混合物内温度	K
$T_u(\theta)$	未燃ゾーンの温度	K
AFR_s	化学量論的空熱比	—
m_{inj}	噴射燃料質量	Kg
m_{air}	吸気質量	Kg
m_{bg}	燃焼室内既燃ガス流量	Kg
m_f	燃焼中に燃焼される燃料の質量	Kg
ρ_u	未燃ゾーン内密度	Kg/m^3
$(\rho_u)_{ivc}$	ivc時の未燃ゾーン内密度	Kg/m^3
Y_u	未燃ゾーン内燃料質量分率	—
U	層流火炎速度	m/s
Ξ	他乱流によるしわ火炎	—
γ	断熱指数	—
PMI	平均図示圧力	bar
Q_{LHV}	燃料において得られる質量エネルギー	J/Kg
A	ピストン表面積	m^2
S_{fl}	火炎表面積	m^2
S_{geo}	幾何学的火炎表面積(しわ火炎を含まない)	m^2
f_{vol}	最小火炎体積(火炎体積開始)	m^3
X	既燃燃料質量分率	—
Y	P, V^r (チャンパ内圧力を表す変数)	$Pa \ m^{3r}$

【0071】

補償すべき空気ループパラメータはすべて、以下のように3つのパラメータでグループ化される。

【0072】

【数10】

$$P_1 = P_{ivc} V_{ivc}^r$$

$$P_2 = \left(\frac{T_{ivc}}{P_{ivc}^{\frac{\gamma}{\gamma-1}}} \right)^{1-2.1 \frac{m_{bg}}{m_{bg} + m_{air}}} \frac{P_{ivc}^{1/\gamma} V_{ivc}}{P_{ivc}^{1/\gamma} V_{ivc}}$$

$$p_3 = \theta_{ivc}$$

【0073】

最後に、モデルのパラメータは C_1 、 C_2 、 C_3 、 C_4 、 α である。これらのパラメータの数値例(国際単位系S I)を以下の表に示す。

【0074】

【表 2】

パラメータ	C_1	C_2	C_3	C_4	α
値	2.92×10^{-5}	2.11	5.34×10^7	1.67×10^{-2}	2.12

【0075】

したがって、モデルは最終的に、以下のように簡略化された形態で書かれる。

【0076】

【数 11】

$$\begin{cases} \frac{dx}{d\theta} = f(x, y, p, \theta) \\ \frac{dy}{d\theta} = g(x, y, p, \theta) \\ x(\theta_{all}) = 0 \\ y(\theta_{all}) = C^T p \\ \theta \in [\theta_{all}, CA_{50}] \end{cases}$$

10

【0077】

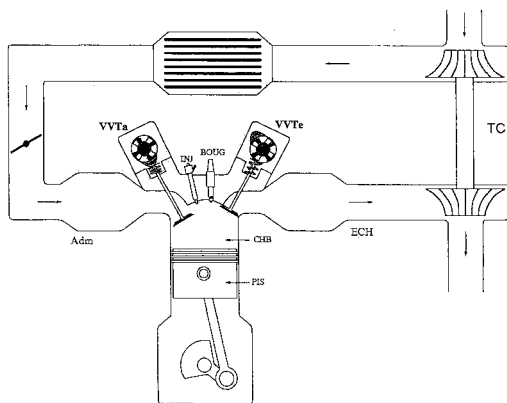
上式で、 $p = (p_1, p_2, p_3)^T$ かつ $C = (1, 0, 0)^T$ であり、 f および g は、付録の最初の部分の燃焼モデルの数式によって定義される。

【0078】

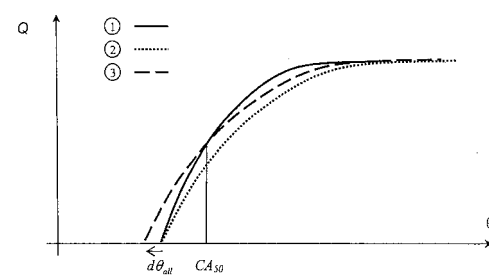
これらの数式で、項 CA_{50} は、任意の角度 CA_y で容易に置き換えることができる。

20

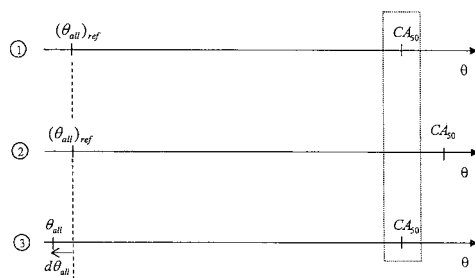
【図 1】



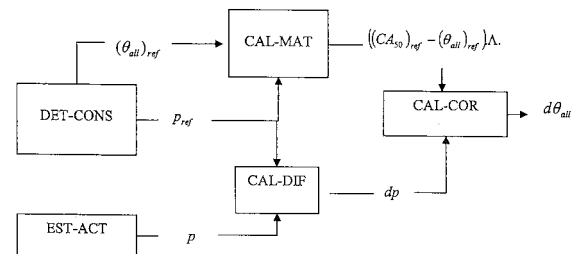
【図 3】



【図 2】



【図 4】



フロントページの続き

(72)発明者 マシュー イルリヨン

フランス国 7 5 0 1 7 パリ ル デ ダム 1 3 1

(72)発明者 ジョナタン ショヴァン

フランス国 9 2 2 0 0 ヌーイリ シュル セーヌ ル ヴィクトル ノワール 7

審査官 後藤 信朗

(56)参考文献 特表2005-505717 (JP, A)

特開2006-009720 (JP, A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

F 0 2 P 5 / 1 5

F 0 2 D 4 5 / 0 0