(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2020-2930
(P2020-2930A)
(43)公開日　令和2年1月9日(2020.1.9)

(51)Int.Cl.		F I			テーマコード（参考）
F02D 45/00	(2006.01)	F02D	45/00	345B	3G301
F02D 41/22	(2006.01)	F02D	45/00	368D	3G384
F02D 41/02	(2006.01)	F02D	41/22	301B	
F02D 43/00	(2006.01)	F02D	41/22	325B	
		F02D	41/02	351	

審査請求 未請求　請求項の数 9　ＯＬ　（全 26 頁）　最終頁に続く

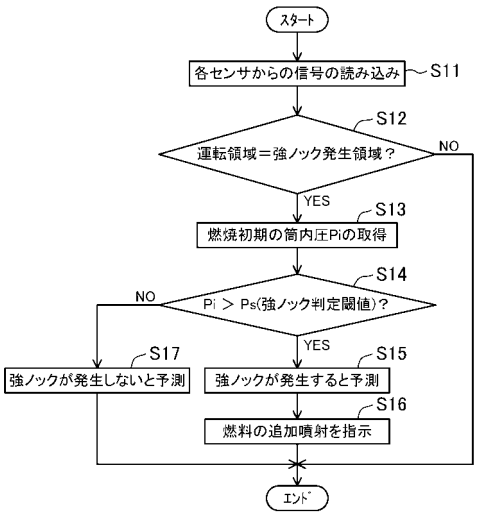
(21)出願番号　特願2018-125867 (P2018-125867)
(22)出願日　平成30年7月2日 (2018.7.2)

(71)出願人　000003137
マツダ株式会社
広島県安芸郡府中町新地３番１号
(74)代理人　110001427
特許業務法人前田特許事務所
(72)発明者　毎熊　泰樹
広島県安芸郡府中町新地３番１号　マツダ株式会社内
(72)発明者　志々目　宏二
広島県安芸郡府中町新地３番１号　マツダ株式会社内
(72)発明者　小幡　充志
広島県安芸郡府中町新地３番１号　マツダ株式会社内

最終頁に続く

(54)【発明の名称】エンジンの制御装置

(57)【要約】
【課題】強いノックを選択的かつ高精度に抑制して、エンジンの信頼性を向上させる。
【解決手段】燃焼室１７の内部に燃料を噴射し、点火することによって燃焼を行うエンジン１の制御装置である。エンジン１の運転領域が、強ノックが発生する強ノック発生領域Ｒｋであるか否かを判定する強ノック領域判定部８４と、燃焼初期の筒内圧を所定の閾値と比較することにより、強ノックの発生を予測する強ノック予測部８２と、その予測に基づいて、同一の燃焼サイクル内で強ノックの発生を抑制する強ノック抑制処理が実行可能な強ノック抑制部８３とを有している。強ノック発生領域Ｒｋであると判定され、かつ、強ノックの発生が予測された場合に、強ノック抑制処理を実行する。
【選択図】図１１



【特許請求の範囲】
【請求項１】
燃焼室の内部に燃料を噴射して形成される混合気に点火することによって燃焼を行うエンジンの制御装置であって、
前記エンジンは、
往復するピストンによって容積が変化するように筒内に区画された燃焼室と、
前記燃焼室に臨むように配置された点火プラグと、
前記燃焼室の内部に燃料を噴射する燃料噴射弁と、
を備え、
前記制御装置は、
前記点火プラグ及び前記燃料噴射弁の各々と電気的に接続されていて、前記点火プラグ及び前記燃料噴射弁に制御信号を出力するとともに、
前記エンジンの運転状態に基づいて、その燃焼の行われる運転領域が、所定の強さ以上のノックが発生する強ノック発生領域であるか否かを判定する強ノック領域判定部と、
その燃焼の初期のタイミングで、筒内圧を所定の閾値と比較することにより、前記ノックの発生を予測する強ノック予測部と、
前記強ノック予測部の予測に基づいて、その燃焼と同一の燃焼サイクル内で前記ノックの発生を抑制する強ノック抑制処理が実行可能な強ノック抑制部と、
を有し、
前記強ノック領域判定部で前記強ノック発生領域であると判定され、かつ、前記強ノック予測部で前記ノックの発生が予測された場合に、前記強ノック抑制部が前記強ノック抑制処理を実行するエンジンの制御装置。
【請求項２】
請求項１に記載のエンジンの制御装置において、
前記強ノック抑制部は、前記強ノック抑制処理として、前記燃焼室の内部に燃料を追加噴射するエンジンの制御装置。
【請求項３】
請求項２に記載のエンジンの制御装置において、
追加噴射される燃料の量は、前記筒内圧の値に基づいて設定されるエンジンの制御装置。
【請求項４】
請求項１～３のいずれか１つに記載のエンジンの制御装置において、
前記エンジンは、少なくとも一部の運転領域で、点火による燃焼が開始した後に、混合気の残部が自己着火により燃焼する所定形態の燃焼を行うように構成され、
前記ノックの発生の予測及び抑制の各処理が、前記運転領域で実行されるエンジンの制御装置。
【請求項５】
請求項１～４のいずれか１つに記載のエンジンの制御装置において、
前記強ノック発生領域は、前記エンジンの運転領域のうち、少なくとも最高回転が存在する高回転側の運転領域を含むエンジンの制御装置。
【請求項６】
請求項５に記載のエンジンの制御装置において、
前記強ノック発生領域は、更に、前記高回転側の運転領域のうち、最低負荷から最高負荷までの全負荷の領域を含むエンジンの制御装置。
【請求項７】
請求項６に記載のエンジンの制御装置において、
前記強ノック発生領域は、更に、前記エンジンの運転領域のうち、最低回転が存在する低回転側の運転領域を含まない中回転の運転領域であって、最高負荷が存在する高負荷側の運転領域を含むエンジンの制御装置。
【請求項８】

請求項１～７のいずれか１つに記載のエンジンの制御装置において、
前記強ノック領域判定部で前記強ノック発生領域でないと判定された場合、前記強ノック抑制部は、前記強ノック抑制処理を実行しないエンジンの制御装置。
【請求項９】
エンジンの制御装置であって、
前記エンジンは、
往復するピストンによって容積が変化するように筒内に区画された燃焼室と、
前記燃焼室に臨むように配置された点火プラグと、
前記燃焼室の内部に燃料を噴射する燃料噴射弁と、
を備え、
前記制御装置は、
前記燃焼室の筒内圧を検出する筒内圧センサを含み、前記エンジンの運転状態を検出する複数のセンサと、
前記点火プラグ、前記燃料噴射弁、及び前記センサの各々と電気的に接続されていて、前記センサの各々から出力される入力信号に基づいて、前記点火プラグ及び前記燃料噴射弁に制御信号を出力するコントローラと、
を備え、
前記コントローラは、
前記燃料噴射弁を作動させて、前記燃焼室の内部に混合気を形成する燃料噴射制御部と、
前記点火プラグを作動させて、前記燃焼室の内部の混合気に点火する点火制御部と、
前記エンジンの運転状態に基づいて、その燃焼の行われる運転領域が、所定の強さ以上のノックが発生する強ノック発生領域であるか否かを判定する強ノック領域判定部と、
その燃焼の初期のタイミングで、前記筒内圧センサの検出値を所定の閾値と比較することにより、所定の強さ以上のノックの発生を予測する強ノック予測部と、
前記強ノック予測部の予測に基づいて、その燃焼と同一の燃焼サイクル内で前記ノックの発生を抑制する強ノック抑制処理が実行可能な強ノック抑制部と、
を有し、
前記強ノック領域判定部で前記強ノック発生領域であると判定され、かつ、前記強ノック予測部で前記ノックの発生が予測された場合に、前記強ノック抑制部が前記強ノック抑制処理を実行するエンジンの制御装置。
【発明の詳細な説明】
【技術分野】
【０００１】
開示する技術は、エンジンの制御装置に関し、所定の強さ以上のノック（ノッキングともいう）を抑制する技術に関する。
【背景技術】
【０００２】
ノックは、エンジンの運転時に異音や振動を発する現象であり、特に火花点火式のエンジンにおいて問題視されている。ノックの発生は、利用者の快適性やエンジンの信頼性に悪影響を与える。そのため、ノックの抑制は、この種の技術分野において重要な課題となっており、これまでも様々な対策が提案されている。
【０００３】
例えば、特許文献１には、ノックを検出するノックセンサを備えたエンジンが開示されている。このエンジンのＥＣＵは、ノックセンサで検出される信号に基づいてノックの有無を判定する。ノックが有ると判定された場合、ＥＣＵは、点火時期を遅角させ、エンジンの負荷に応じて、遅角量と共に燃料の減少量を制御する。それにより、ノックが発生した時に、排気ガスの温度上昇を抑制しながらノックを抑制している。
【０００４】
特許文献２には、第１及び第２の直噴型の燃料噴射弁、並びに、これら燃料噴射弁の各

々に対応した第１及び第２の点火プラグを備えたエンジンが開示されている。このエンジンでは、運転状態に応じた量の燃料が、圧縮上死点の前と後に分けて噴射される。そうすることで、熱効率を向上しながらノックの発生を抑制し、エンジンの高圧縮比が実現できるようにしている。

【先行技術文献】

【特許文献】

【０００５】

【特許文献１】特開２００８－２９１７５８号公報

【特許文献２】特開２０１２－４１８４６号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【０００６】

エンジンの運転中、不快な騒音や振動として問題視されている通常のノックとは明らかに強度が異なる、強いノック（強ノックともいう）が、突発的に発生する場合がある。このような強ノックは、通常のノックとは異なり、エンジンにダメージを与える可能性が高い。そのため、強ノックは、エンジンの信頼性を低下させる原因となる。強ノックはまた、高い圧縮比で発生し易いことから、高圧縮エンジンの開発の妨げにもなっている。

【０００７】

特許文献１のように、点火時期を遅角（リタード）させることはノックの抑制には有効である。しかし、実質的な圧縮比が低下するため、燃費が悪化するし、出力の低下を招く。また、燃焼条件が制約されるため、実施できる運転領域が限られる。そのため、特許文献１のエンジンは、強ノックが抑制できない場合もあり得る。

【０００８】

特許文献２のエンジンは、１回の燃焼サイクルの過程で燃焼を２度行うため、構造が複雑になる。特許文献２のエンジンもまた、燃焼条件が制約されるため、特許文献１のエンジンと同様に、強ノックが抑制できない場合もあり得る。

【０００９】

特に、特許文献１や２の方法では、強ノックだけでなく、通常のノックも含めたノック全般を抑制するため、無駄が多い。従って、強ノックを抑制する観点からは、効率性に欠け、燃費の悪化を招く。

【００１０】

そこで、本発明者らは、強ノックの選択的な抑制が可能になる方法として、燃焼初期のタイミングで強ノックの発生を予測し、その燃焼の初期以降のタイミングで強ノックを抑制することを考えた。

【００１１】

しかし、燃焼はバラつくため、その影響を受け易いという問題がある。すなわち、異なる燃焼条件であれば燃焼の状態は異なるし、燃焼条件が同じであっても、燃焼の状態は常に同じであるとは限らない。更に、時間の経過によって燃焼の状態が変化する場合もあり得る。また、実機を量産する観点からは、加工のバラツキ等により、各エンジン間や各気筒間で燃焼の状態に差が生じる場合も考慮する必要がある。

【００１２】

それに対し、先の方法では、僅かな燃焼期間内で、強ノックの予測と抑制とが行われるので、時間的余裕はほとんど無い。そのため、予測の判断基準を厳しくすると、強ノックの発生を見逃す可能性が高くなる。それにより、予測の判断基準は緩めざるを得ないが、そうすると、強ノックの誤った予測が増加し、不必要な強ノック抑制処理が多発するという問題がある。

【００１３】

そこで開示する技術の目的は、効率的かつ高精度な予測に基づいて、強いノックを選択的に抑制でき、エンジンの信頼性を向上させることができる制御装置を提供することにある。

【課題を解決するための手段】
【００１４】
開示する技術は、燃焼室の内部に燃料を噴射して形成される混合気に点火することによって燃焼を行うエンジンの制御装置に関する。
【００１５】
前記エンジンは、往復するピストンによって容積が変化するように筒内に区画された燃焼室と、前記燃焼室に臨むように配置された点火プラグと、前記燃焼室の内部に燃料を噴射する燃料噴射弁と、を備えている。
【００１６】
前記制御装置は、前記点火プラグ及び前記燃料噴射弁の各々と電気的に接続されていて、前記点火プラグ及び前記燃料噴射弁に制御信号を出力する。更に、前記制御装置は、前記エンジンの運転状態に基づいて、その燃焼の行われる運転領域が、所定の強さ以上のノックが発生する強ノック発生領域であるか否かを判定する強ノック領域判定部と、その燃焼の初期のタイミングで、筒内圧を所定の閾値と比較することにより、前記ノックの発生を予測する強ノック予測部と、前記強ノック予測部の予測に基づいて、その燃焼と同一の燃焼サイクル内で前記ノックの発生を抑制する強ノック抑制処理が実行可能な強ノック抑制部と、を有している。そして、前記強ノック領域判定部で前記強ノック発生領域であると判定され、かつ、前記強ノック予測部で前記ノックの発生が予測された場合に、前記強ノック抑制部が前記強ノック抑制処理を実行する。
【００１７】
また、開示する技術は、エンジンの制御装置であって、前記エンジンは、往復するピストンによって容積が変化するように筒内に区画された燃焼室と、前記燃焼室に臨むように配置された点火プラグと、前記燃焼室の内部に燃料を噴射する燃料噴射弁と、を備え、
前記制御装置は、前記燃焼室の筒内圧を検出する筒内圧センサを含み、前記エンジンの運転状態を検出する複数のセンサと、前記点火プラグ、前記燃料噴射弁、及び前記センサの各々と電気的に接続されていて、前記センサの各々から出力される入力信号に基づいて、前記点火プラグ及び前記燃料噴射弁に制御信号を出力するコントローラと、を備え、
前記コントローラは、前記燃料噴射弁を作動させて、前記燃焼室の内部に混合気を形成する燃料噴射制御部と、前記点火プラグを作動させて、前記燃焼室の内部の混合気に点火する点火制御部と、前記エンジンの運転状態に基づいて、その燃焼の行われる運転領域が、所定の強さ以上のノックが発生する強ノック発生領域であるか否かを判定する強ノック領域判定部と、その燃焼の初期のタイミングで、前記筒内圧センサの検出値を所定の閾値と比較することにより、所定の強さ以上のノックの発生を予測する強ノック予測部と、前記強ノック予測部の予測に基づいて、その燃焼と同一の燃焼サイクル内で前記ノックの発生を抑制する強ノック抑制処理が実行可能な強ノック抑制部と、を有し、
前記強ノック領域判定部で前記強ノック発生領域であると判定され、かつ、前記強ノック予測部で前記ノックの発生が予測された場合に、前記強ノック抑制部が前記強ノック抑制処理を実行する、とすることができる。
【００１８】
すなわち、このエンジンの制御装置によれば、強ノックの予測と抑制とが、同一の燃焼サイクルにおいて行われる。従って、ノック全般を大まかに抑制するのではなく、強ノックだけを選択的に抑制できるので、効率的であり、燃費の低下を招くことなく、エンジンの信頼性を向上させることができる。
【００１９】
そして、強ノックの発生を予測する際には、燃焼初期の筒内圧が所定の閾値と比較されるが、上述したように、燃焼バラツキに起因した強ノックの見逃しを回避するためには、閾値は、余裕のある安全な値に設定せざるを得ない。そうすると、強ノックの誤った予測が増加し、不必要な強ノック抑制処理が多発することになるが、本発明者らは、強ノックが発生する領域は、エンジンの運転領域のうち、所定の領域に限定しても、実用的には問題ないことを見出した。

【００２０】
そこで、この制御装置では、エンジンの運転領域が、そのような強ノックが発生する強ノック発生領域であるか否かを判別し、そして、エンジンの運転領域が強ノック発生領域であると判定され、かつ、強ノックの発生が予測された場合に、強ノックの抑制処理を実行するようにしている。そうすることで、強ノックの見逃しを防止しながら、不必要な強ノックの抑制処理の増加を抑制することが可能になる。従って、効率的かつ高精度な予測に基づいて、強いノックを選択的に抑制できるので、エンジンの信頼性を向上させることができる。
【００２１】
前記エンジンの制御装置ではまた、前記強ノック抑制部は、前記強ノック抑制処理として、前記燃焼室の内部に燃料を追加噴射する、としてもよい。
【００２２】
強ノックの発生が予測されたのと同一の燃焼サイクルで、強ノックを抑制する処理を行うには、時間的余裕はほとんどない。それに対し、このエンジンでは、燃焼室の内部に直接燃料を噴射するので、強ノックが発生する前に燃料を燃焼室の内部に噴射することができる。燃料が噴射されると、燃焼が進行している混合気が撹拌されて、未燃混合気の局所的な温度の上昇が抑制される。その結果、強ノックを抑制できる。燃料を追加噴射するだけなので、既存の装置が利用でき、構造の複雑化を回避できる点でも有利である。
【００２３】
前記エンジンの制御装置ではまた、追加噴射される燃料の量は、前記筒内圧の値に基づいて設定される、としてもよい。
【００２４】
強ノックを安定して抑制する観点からは、追加噴射する燃料の量は多い方が有効である。しかし、燃料の追加噴射量が多くなれば、その分だけ煤も増加する。それに対し、追加噴射する燃料の量を、筒内圧の値に基づいて大小に設定すれば、強ノックの安定した抑制と、煤の抑制とをバランスよく実現できる。
【００２５】
前記エンジンの制御装置ではまた、前記エンジンは、少なくとも一部の運転領域で、点火による燃焼が開始した後に、混合気の残部が自己着火により燃焼する所定形態の燃焼を行うように構成され、前記ノックの発生の予測及び抑制の各処理が、前記運転領域で実行される、としてもよい。
【００２６】
すなわち、エンジンで、後述するＳＰＣＣＩ燃焼が行われ、強ノックの発生の予測及び抑制の各処理が、そのＳＰＣＣＩ燃焼が行われる領域でも実行される。ＳＰＣＣＩ燃焼では、高度に制御された状態で、点火によるＳＩ燃焼が行われるので、同一燃焼サイクルでの強ノックの発生予測及び抑制との相性がよく、強ノックを高精度かつ安定して抑制できる。
【００２７】
前記エンジンの制御装置ではまた、前記強ノック発生領域は、前記エンジンの運転領域のうち、少なくとも最高回転が存在する高回転側の運転領域を含む、としてもよい。
【００２８】
強ノックは、特に、高回転側の運転領域で発生しやすいので、強ノック発生領域が高回転側の運転領域を含むことで、強ノックを効率的かつ安定して抑制できる。
【００２９】
前記強ノック発生領域は、更に、前記高回転側の運転領域のうち、最低負荷から最高負荷までの全負荷の領域を含む、としてもよい。
【００３０】
強ノックは、高回転側であれば、負荷が小さくても発生する可能性があることが確認されたことから、強ノック発生領域が高回転側の全負荷の領域を含むことで、強ノックをより確実に抑制することが可能になる。

【００３１】
前記強ノック発生領域は、更に、前記エンジンの運転領域のうち、最低回転が存在する低回転側の運転領域を含まない中回転の運転領域であって、最高負荷が存在する高負荷側の運転領域を含む、としてもよい。
【００３２】
強ノックは、このような運転領域でも発生する可能性があるため、強ノック発生領域がその運転領域を含むことで、強ノックをよりいっそう確実に抑制することが可能になる。

【００３３】
前記エンジンの制御装置ではまた、前記強ノック領域判定部で前記強ノック発生領域でないと判定された場合、前記強ノック抑制部は、前記強ノック抑制処理を実行しない、としてもよい。
【００３４】
そうすれば、ノック抑制処理の実行回数を削減できるので、制御装置の処理負担を軽減でき、効率的な制御が行える。
【発明の効果】
【００３５】
開示する技術によれば、効率的かつ高精度な予測に基づいて、強いノックを選択的に抑制できるので、エンジンの信頼性を向上させることができる。
【図面の簡単な説明】
【００３６】
【図１】エンジンの構成を例示する図である。
【図２】燃焼室の構成を例示する図である。上図は燃焼室の平面視相当図、下図はＩＩ－ＩＩ線での断面図である。
【図３】エンジンの制御装置の構成を例示するブロック図である。
【図４】エンジンの運転領域マップを例示する図である。
【図５】図４の運転領域マップの各運転領域における、燃料噴射時期、点火時期、及び燃焼波形を例示する図である。
【図６】ＳＰＣＣＩ燃焼の燃焼波形を例示する図である。
【図７】ノック強度を説明する図である。
【図８】ｍｆｂ１０％時期の算出手順を示すフローチャートである。
【図９】ｍｆｂ１０％時期とノック強度との関係を表したグラフの一例である。
【図１０】強ノック判定閾値Ｐｓの算出手順を説明する図である。（ａ）は、ｍｆｂ１０％時期の分布情報のイメージ図、（ｂ）は、ｍｆｂ１０％時期と燃焼初期の筒内圧と関係を説明する図である。
【図１１】強ノックに関する判定、予測、及び抑制の各制御の流れを示すフローチャートである。
【図１２】図１１に示すフローチャートに対応した、制御に関連する主な状態量の変化を、クランク角度に沿って例示した状態図である。
【発明を実施するための形態】
【００３７】
以下、開示する技術の実施形態を図面に基づいて詳細に説明する。ただし、以下の説明は、本質的に例示に過ぎず、本発明、その適用物あるいはその用途を制限するものではない。
【００３８】
＜エンジンの構成＞
図１に、本実施形態で開示するエンジン１を示す。このエンジン１は、燃焼サイクルとして、吸気行程、圧縮行程、膨張行程、及び排気行程の４つの行程を繰り返す４ストロークエンジンである。エンジン１は、動力源として自動車に搭載されており、自動車は、エンジン１が運転することによって走行する。

【００３９】
エンジン１は、ガソリンを含有する燃料で運転する。エンジン１の燃料は、純正のガソリンでも、バイオエタノール等を含むガソリンでもよい。すなわち、このエンジン１の燃料は、少なくともガソリンを含む液体燃料であれば、どのような燃料であってもよい。
【００４０】
このエンジン１は、一部の運転領域において、所定形態の燃焼、すなわちＳＩ（Spark Ignition）燃焼とＣＩ（Compression Ignition）燃焼とを組み合わせた形態の燃焼（Spark Controlled Compression Ignition、ＳＰＣＣＩ燃焼ともいう）を行うように構成されている。
【００４１】
ＳＩ燃焼は、混合気を強制的に点火することで開始する燃焼である。ＣＩ燃焼は、圧縮によって高温高圧になった混合気が自着火することで開始する燃焼である。ＳＰＣＣＩ燃焼では、点火によって燃焼が開始される。その後、点火された混合気が火炎伝播によって燃焼し、その燃焼の発熱と圧力上昇とにより、燃焼の過程で混合気の残部（未燃混合気）が自着火によって燃焼する。
【００４２】
ＳＩ燃焼の発熱量を調整することで、圧縮開始前の温度のバラツキが吸収できる。従って、圧縮開始前の温度に応じてＳＩ燃焼の開始タイミングを制御すれば、ＣＩ燃焼を制御できる。ＳＰＣＣＩ燃焼は、燃焼条件の制御により、ＣＩ燃焼にＳＩ燃焼が有機的に組み合わされた燃焼形態である。
【００４３】
エンジン１は、シリンダブロック１２と、その上に載置されるシリンダヘッド１３とで構成されたエンジン本体１０を備える。シリンダブロック１２の内部には、複数のシリンダ１１（気筒）が形成されている（図１では、１つのシリンダ１１のみを示す）。エンジン本体１０は、更に、ピストン３、インジェクタ（燃料噴射弁）６、点火プラグ２５、吸気弁２１、排気弁２２なども備える。
【００４４】
各シリンダ１１内には、ピストン３が一定の範囲（下死点と上死点の間）を往復するように、摺動可能な状態で嵌入されている。ピストン３は、コネクティングロッド１４を介してクランクシャフト１５に連結されている。ピストン３は、シリンダブロック１２及びシリンダヘッド１３と共に、容積が変化する燃焼室１７をシリンダ１１の内部に区画している。なお、「燃焼室１７」は、ピストン３の位置に関わらず、エンジン本体１０の内部に形成される燃焼空間を意味する。
【００４５】
図２に示すように、燃焼室１７の天井面は、２つの傾斜面、傾斜面を有するいわゆるペントルーフ形状である。燃焼室１７の床面、つまりピストン３の上面にはキャビティ３１（凹部）が形成されている。キャビティ３１は、ピストン３が圧縮上死点付近に位置するときに、インジェクタ６に向かい合う。燃焼室１７の形状は、エンジン１の仕様に応じて変更できる。例えばキャビティ３１の形状、ピストン３の上面の形状、及び、燃焼室１７の天井面の形状等は、適宜変更することが可能である。
【００４６】
エンジン１の幾何学的圧縮比（ピストン３が下死点にあるときの燃焼室１７の容積に対するピストン３が上死点にあるときの燃焼室１７の容積の比率）は、１０以上３０以下、好ましくは１４以上１８以下に設定されている。ＳＰＣＣＩ燃焼は、ＳＩ燃焼による発熱と圧力上昇とを利用して、ＣＩ燃焼を制御する。従って、このエンジン１では、混合気を自着火させるために、ピストン３が圧縮上死点に至った時の燃焼室１７の温度（圧縮端温度）を高くする必要はない。
【００４７】
つまり、このエンジン１の幾何学的圧縮比は、ＳＩ燃焼のみを行う通常の火花点火式エンジンより高く、ＣＩ燃焼のみを行う場合よりも低くなっている。幾何学的圧縮比が高い

ことは、熱効率の増加に有利であり、幾何学的圧縮比が低いことは、冷却損失及び機械損失の低減に有利である。エンジン１の幾何学的圧縮比は、燃料の仕様に応じて設定してもよい。例えば、レギュラー仕様（燃料のオクタン価が９１程度）の場合、１４以上１７以下としてもよく、ハイオク仕様（燃料のオクタン価が９６程度）の場合、１５以上１８以下としてもよい。

【００４８】

シリンダヘッド１３には、シリンダ１１毎に、燃焼室１７に連通する２つの吸気ポート１８が形成されている。吸気弁２１は、各吸気ポート１８に設置されていて、燃焼室１７と吸気ポート１８との間を開閉する。吸気弁２１は可変動弁機構（例えば、吸気電動Ｓ－ＶＴ２３、図３参照）によって開閉され、その開閉時期及び／又は開閉量は変更可能となっている。

【００４９】

シリンダヘッド１３にはまた、シリンダ１１毎に、燃焼室１７に連通する２つの排気ポート１９が形成されている。排気弁２２は、各排気ポート１９に設置されていて、燃焼室１７と排気ポート１９との間を開閉する。排気弁２２は可変動弁機構（例えば、排気電動Ｓ－ＶＴ２４、図３参照）によって開閉され、その開閉時期及び／又は開閉量は変更可能となっている。

【００５０】

インジェクタ６は、シリンダ１１毎に、シリンダヘッド１３に設置されている。インジェクタ６は、燃焼室１７の天井面の略中央部から燃焼室１７の中に燃料を直接噴射するよう構成されている。インジェクタ６の噴射中心Ｘ２は、シリンダ１１の中心Ｘ１からずれた位置で、キャビティ３１と対向している。インジェクタ６は、周方向に等間隔で配置された複数の噴孔を有しており、これら噴孔から噴射される燃料の噴霧は、図２に二点鎖線で示すように、燃焼室１７の上部から斜め下方に向かって放射状に拡散する。インジェクタ６は、ソレノイドやピエゾ素子の駆動によって開閉するノズルを有している。それにより、ノズルの開閉は制御信号に高速で応答し、例えば１ｍｓ以下の高速噴射が可能に構成されている。

【００５１】

インジェクタ６は、燃料供給装置６１に接続されている。燃料供給装置６１は、インジェクタ６を含めて、燃料タンク６３、燃料供給路６２、燃料ポンプ６５、コモンレール６４などで構成されている。燃料ポンプ６５により、燃料タンク６３に収容されている燃料が、燃料供給路６２を通じてコモンレール６４に圧送される。燃料は、３０ＭＰａ以上の高圧でコモンレール６４に蓄えられる。コモンレール６４は燃料供給路６２を通じてインジェクタ６と接続されており、インジェクタ６が開弁することで、３０ＭＰａ以上の高圧、例えば５０ＭＰａ以上７０ＭＰａ以下で燃料が燃焼室１７の中に噴射される。このエンジン１では、６０ＭＰａに燃料の噴射圧を設定してもよい。

【００５２】

点火プラグ２５は、シリンダ１１毎に、シリンダヘッド１３に設置されている。点火プラグ２５は、燃焼室１７に形成される混合気を強制的に点火する。点火プラグ２５は、その先端に電極を有し、その電極が２つの吸気ポート１８，１８の間から燃焼室１７の上部に臨むように配置されている。

【００５３】

エンジン本体１０の一側面には、各シリンダ１１の吸気ポート１８に連通する吸気通路４０が接続されている。吸気通路４０には、エアクリーナー４１、サージタンク４２、スロットル弁４３、過給機４４、電磁クラッチ４５、インタークーラー４６などが設置されている。吸気通路４０を通じて燃焼室１７にガス（新気及び／又はＥＧＲガス）が導入される。

【００５４】

スロットル弁４３は、燃焼室１７の中へ導入する新気の量を変更する。過給機４４は、エンジン１によって駆動され、燃焼室１７に導入するガスを過給する。過給機４４は、電

磁クラッチ４５の連結と遮断とにより、ガスを過給する状態（オン）と、ガスを過給しない状態（オフ）とに切り替え制御される。インタークーラー４６は、過給機４４で圧縮されたガスを冷却する。

【００５５】

吸気通路４０には、過給機４４及びインタークーラー４６をバイパスするバイパス通路４７が接続されている。バイパス通路４７には、ガスの流量を変更するエアバイパス弁４８が配設されている。電磁クラッチ４５を遮断することによって過給機４４をオフにし、エアバイパス弁４８を全開にすることで、ガスは、バイパス通路４７を通じて燃焼室１７に導入される。その場合、エンジン１は非過給（自然吸気）の状態で運転する。エンジン１を過給状態で運転する場合は、電磁クラッチ４５を連結することによって過給機４４をオンにして、エアバイパス弁４８の開度を変更する。そうすることで、過給圧を変更しながら燃焼室１７に過給したガスを導入することができる。

【００５６】

吸気ポート１８の一方には、燃焼室１７の中にスワール流（図２の白抜き矢印参照）を形成し、その強さを変更するスワール弁５６が設置されている。その開度が小さいとスワール流が強くなり、その開度が大きいとスワール流が弱くなる。このエンジン１では、特に、安定したＳＰＣＣＩ燃焼を実現するために、スワール比は１．５～３（スワール弁５６の開度であれば、２５％～４０％）となる範囲で調整される。

【００５７】

エンジン本体１０の他側面には、各シリンダ１１の排気ポート１９に連通する排気通路５０が接続されている。排気通路５０には、２つの触媒コンバーター５７，５８が設置されている。上流の触媒コンバーター５７は、エンジンルーム内に配置され、三元触媒とＧＰＦとを有している。下流の触媒コンバーター５８は、エンジンルーム外に配置され、三元触媒を有している。なお、触媒コンバーター５７，５８の構成は、エンジン１の仕様に応じて適宜変更できる。

【００５８】

吸気通路４０と排気通路５０との間には、既燃ガスの一部を吸気通路４０に還流させるＥＧＲ通路５２が接続されている。ＥＧＲ通路５２には、ＥＧＲクーラー５３及びＥＧＲ弁５４が設置されている。ＥＧＲ弁５４は、ＥＧＲ通路５２を流れる既燃ガスの流量を変更し、ＥＧＲクーラー５３は、ＥＧＲ通路５２を流れる既燃ガスを冷却する（外部ＥＧＲシステム）。外部ＥＧＲシステムにより、冷却された既燃ガス（外部ＥＧＲガス）が燃焼室１７に供給される。

【００５９】

このエンジン１の制御装置は、複数のセンサＳＷ１～ＳＷ１７を備えている。これらセンサＳＷ１～ＳＷ１７は、エンジン１に設置されている。具体的には、エアフローセンサＳＷ１、第１吸気温度センサＳＷ２、圧力センサＳＷ３、第２吸気温度センサＳＷ４、圧力センサＳＷ５、筒内圧センサＳＷ６、排気温度センサＳＷ７、リニアＯ２センサＳＷ８、ラムダＯ２センサＳＷ９、水温センサＳＷ１０、クランク角センサＳＷ１１、アクセル開度センサＳＷ１２、吸気カム角センサＳＷ１３、排気カム角センサＳＷ１４、ＥＧＲ差圧センサＳＷ１５、燃圧センサＳＷ１６、第３吸気温度センサＳＷ１７などが、エンジン１の各所に設置されている。

【００６０】

例えば、クランク角センサＳＷ１１は、エンジン本体１０に取り付けられていて、クランクシャフト１５の回転角を検知する。筒内圧センサＳＷ６は、シリンダ１１毎にシリンダヘッド１３に取り付けられていて、各燃焼室１７の中の圧力（筒内圧ともいう）を検知する。筒内圧センサＳＷ６の場合、その検出信号は、例えば、エンジン１の最高回転数でクランクシャフト１５が１度回転する時間と同等かそれ以下の間隔で出力可能である。

【００６１】

このエンジン１の制御装置はまた、ＥＣＵ８（コントローラの一例）を備えている。図１に示すように、ＥＣＵ８は、プロセッサ８ａ、メモリ８ｂ、インターフェース８ｃ等を

含むハードウエアと、後述する運転領域マップ７０などの各種データや制御プログラム等を含むソフトウエアなどで構成されている。ＥＣＵ８は、例えば、３２又は６４ビットの、動作周波数が１００ＭＨｚ以上の高性能なプロセッサ８ａを有しており、高速かつ高度な演算処理が可能である。

【００６２】

図３に示すように、ＥＣＵ８には、インジェクタ６を作動させて、燃焼室１７の内部に混合気を形成する燃料噴射制御部８０、点火プラグ２５を作動させて、燃焼室１７の内部の混合気に点火する点火制御部８１などが実装されている。詳細は後述するが、ＥＣＵ８にはまた、強ノック予測部８２、強ノック抑制部８３、及び強ノック領域判定部８４が実装されており、所定の強さ以上のノック（強ノック）の発生を予測し、その予測に基づいてその強ノックを抑制する制御も行う。

【００６３】

センサＳＷ１～ＳＷ１７は、ＥＣＵ８と電気的に接続されていて、エンジン１の運転中は、常時、検知した信号をＥＣＵ８に出力する。ＥＣＵ８は、各センサＳＷ１～ＳＷ１７から入力される出力信号と、運転領域マップ７０等のデータとに基づいて、エンジン１を適正に運転するために、エンジン１を構成している各装置を制御する。

【００６４】

具体的には、図３に示すように、ＥＣＵ８は、また、インジェクタ６、点火プラグ２５、吸気電動Ｓ－ＶＴ２３、排気電動Ｓ－ＶＴ２４、燃料供給システム６１、スロットル弁４３、ＥＧＲ弁５４、電磁クラッチ４５、エアバイパス弁４８、スワール弁５６などの各装置と電気的に接続されていて、これら装置に制御信号を出力し、これら装置を制御する。

【００６５】

＜運転領域マップ＞

図４に、エンジン１の運転制御に用いられる運転領域マップ７０の一例を示す。この運転領域マップ７０は、温間時の運転に用いられるものであり、互いに区画された次の３つの領域を含む。

【００６６】

Ａ１：アイドル運転を含みかつ、低回転及び中回転の低負荷の領域に広がる「低負荷領域」

Ａ２：全開負荷を含みかつ、低負荷領域Ａ１よりも負荷が高い、低回転及び中回転の領域に広がる「高負荷領域」

Ａ３：低負荷領域Ａ１及び高負荷領域Ａ２よりも回転数が高く、かつ、低負荷から高負荷まで負荷領域の全域にわたる「高回転領域」

【００６７】

ここでいう「低回転」、「中回転」、及び、「高回転」の各領域は、例えば、エンジン１の全運転領域を回転方向に略三等分にした場合の、低回転側から順に並ぶ各分割領域である。１２００ｒｐｍ程度未満の回転数Ｎ１を「低回転」、４０００ｒｐｍ程度以上の回転数Ｎ２を「高回転」、回転数Ｎ１以上Ｎ２未満を「中回転」としてもよい。

【００６８】

「低負荷」及び「高負荷」は、低負荷側から高負荷側まで負荷領域の全域を略２等分した場合の低負荷側の分割領域及び高負荷側の分割領域としてもよい。

【００６９】

また、以降の説明で用いる、燃焼サイクルでの行程における「前期」、「中期」、及び「後期」は、各行程を３等分した場合での前からの各分割期間を意味する。また同様に、「前半」及び「後半」は、各行程を２等分した場合での前からの各分割期間を意味する。

【００７０】

エンジン１は、運転領域マップ７０の全域でＳＰＣＣＩ燃焼を行ってもよいが、本実施形態では、低負荷領域Ａ１、及び高負荷領域Ａ２において、ＳＰＣＣＩ燃焼を行う。高回転領域Ａ３において、エンジン１は、火花点火によるＳＩ燃焼を行う。なお、冷間時や始

動時など、エンジン１が十分に暖まっていない時には、全領域においてＳＩ燃焼を行ってもよい。

【００７１】

過給機４４は、低負荷領域Ａ１及び高負荷領域Ａ２における、低負荷かつ低回転の領域（図４に符号Ｔで示す原点側の領域：非過給領域）でオフされる。エンジン１は、この領域では、自然吸気の状態で運転する。過給機４４は、非過給領域以外の領域（過給領域）においてオンされる。エンジン１は、過給領域では、過給機４４の下流側が、大気圧より動的に高圧になる状態で運転する。

【００７２】

（低負荷領域Ａ１）

エンジン１は、燃費の向上及び排出ガス性能の向上を主目的として、低負荷領域Ａ１において、ＳＰＣＣＩ燃焼を行う。

【００７３】

具体的には、エンジン１が低負荷領域Ａ１で運転している時、点火プラグ２５は、先行点火と主点火とからなる複数の点火を実行する。先行点火は、圧縮行程の前期または中期のいずれかに実行される。主点火は、圧縮行程の後期から膨張行程の初期までの期間に実行される。

【００７４】

例えば、図４に示す運転ポイントＰ１では、図５の（ａ）に示すように、点火プラグ２５は、圧縮行程の前期に先行点火を実行し、圧縮行程の後期に主点火を実行する。運転ポイントＰ１よりも高負荷の運転ポイントＰ２では、点火プラグ２５は、図５の（ｂ）に示すように、運転ポイントＰ１より早期に先行点火を実行し、圧縮行程の後期に主点火を実行する。

【００７５】

先行点火では、混合気は燃焼しない。先行点火は、火花（アーク）の周囲の混合気を８５０Ｋ以上１１４０Ｋ未満という狙いの温度にまで上昇させることにより、燃料成分（炭化水素）を開裂させてＯＨラジカルを含む中間生成物を生成することを目的として行われる。また、燃焼を防止するため、先行点火のエネルギーは、主点火のエネルギーよりも小さくされる。それにより、先行点火が行われても燃焼は開始しない。

【００７６】

主点火により、混合気が燃焼する。すなわち、主点火により、火炎伝播が生じ、ＳＩ燃焼が開始する。ＳＩ燃焼が開始されると、それに引き続いてＣＩ燃焼が開始する。すなわち、主点火により、圧縮上死点の直前でＳＰＣＣＩ燃焼が開始し、膨張行程の初期にＳＰＣＣＩ燃焼が終了する。

【００７７】

（ＳＰＣＣＩ燃焼）

図６に、ＳＰＣＣＩ燃焼による燃焼波形（熱発生率の波形）を示す。ＳＰＣＣＩ燃焼の熱発生率は、通常、ＳＩ燃焼時よりもＣＩ燃焼時の方が急峻になる。容積が最小になる上死点の近傍でＳＩ燃焼が生じると、燃焼室の温度および圧力が急激に上昇する。それにより、未燃混合気が自着火し、ＣＩ燃焼が開始される。ＣＩ燃焼は、ＳＩ燃焼よりも急峻なので、燃焼波形の傾きが急増する。すなわち、ＳＰＣＣＩ燃焼の燃焼波形は、ＣＩ燃焼が開始するタイミングで変曲点Ｘを有している。

【００７８】

ＣＩ燃焼の開始後は、ＳＩ燃焼とＣＩ燃焼とが並行して行われる。従って、ＣＩ燃焼での熱発生率は相対的に大きくなる。ただし、ＳＰＣＣＩ燃焼では、ＣＩ燃焼は、ピストンが下降する圧縮上死点の後に行われるように制御されるため、ＣＩ燃焼時のｄｐ／ｄθ（燃焼騒音の指標）は抑制される。

【００７９】

ＣＩ燃焼はＳＩ燃焼に比べて燃焼速度が速いので、相対的に燃焼期間を短縮できる。すなわち、ＳＰＣＣＩ燃焼では、燃焼期間を圧縮上死点の近傍に集約できるので、燃費が向

上する。従って、ＳＰＣＣＩ燃焼では、適切なタイミングで最適な燃焼波形が得られるように、ＳＩ燃焼とＣＩ燃焼との比率を、エンジン１の運転条件に応じて制御することが重要である。

【００８０】

そのため、ＳＰＣＣＩ燃焼では、ＳＩ燃焼とＣＩ燃焼とが適切な組み合わせ状態で発生するよう、ＳＰＣＣＩ燃焼におけるＳＩ燃焼の割合（ＳＩ率、熱量比率）が、制御に用いられている。ＳＩ率は、例えば、ＳＰＣＣＩ燃焼の全熱量（$Q_{SI}+Q_{CI}$）に対するＳＩ燃焼での熱量（Q_{SI}）の割合としてもよい。また、圧縮上死点前の適切なタイミングでＳＩ燃焼が開始するよう、ＳＰＣＣＩ燃焼では、ＳＩ燃焼からＣＩ燃焼に切り替わるときの変曲点Ｘのクランク角（θｃｉ）も、制御に用いられている。

【００８１】

ＳＰＣＣＩ燃焼では、これらＳＩ率及びθｃｉが、エンジン１の運転状態に応じて、適切な値となるように、点火時期、燃料の噴射時期、燃料の噴射量、空気量、ＥＧＲガス量、スワール弁５６の開度等が制御される。

【００８２】

例えば、エンジン１が低負荷領域Ａ１で運転している時、インジェクタ６は、先行点火よりも早いタイミングで、エンジン１の負荷に応じた燃料を複数回に分けて噴射する。例えば、運転ポイントＰ１及び運転ポイントＰ２では、吸気行程の期間で２回の噴射が行われ、インジェクタ６は、吸気行程の前半に第１噴射を行い、吸気行程の後半に第２噴射を行う。第１噴射と第２噴射の各噴射量は、高負荷側ほど第１噴射の噴射量が少なくなるように設定される。

【００８３】

エンジン１が低負荷領域Ａ１で運転している時、燃焼室１７に導入される空気（新気）と、燃焼室１７に噴射される燃料との重量比である空燃比（Ａ／Ｆ）は、理論空燃比（１４．７）よりも大きく設定される。具体的には、Ａ／Ｆは、２０以上３５以下の範囲に設定される。

【００８４】

エンジン１が低負荷領域Ａ１で運転している時、安定したＳＰＣＣＩ燃焼を実現するために、必要に応じて、排気上死点を挟んで吸気弁２１及び排気弁２２の双方が開かれるように制御される。いわゆるオーバーラップ期間の設定により、燃焼室１７に高温の既燃ガス（内部ＥＧＲガス）が導入される。また、必要に応じて、ＥＧＲ弁５４が開くように制御され、燃焼室１７に、いったん外部に排出されて冷却される排気ガス（外部ＥＧＲガス）が導入される。

【００８５】

エンジン１が低負荷領域Ａ１で運転している時、燃焼開始時点での混合気の成層化を促進するため、燃焼室１７に強いスワール流が形成される。すなわち、スワール弁５６は、５０％よりも低い低開度に設定されるように制御される。

【００８６】

（高負荷領域Ａ２）

エンジン１は、燃費の向上及び排出ガス性能の向上を主目的として、高負荷領域Ａ２において、ＳＰＣＣＩ燃焼を行う。

【００８７】

具体的には、エンジン１が高負荷領域Ａ２で運転している時、点火プラグ２５は、１回の点火、すなわち、主点火のみを行う。

【００８８】

例えば、図４に示す運転ポイントＰ３では、図５の（ｃ）に示すように、圧縮行程の後期に１回の点火を実行する。この点火により、圧縮上死点の直前にＳＰＣＣＩ燃焼が開始し、膨張行程の初期にＳＰＣＣＩ燃焼が終了する。

【００８９】

エンジン１が高負荷領域Ａ２で運転している時、インジェクタ６は、エンジン１の負荷

に応じた燃料を、吸気行程の期間中に１回で噴射する。必要に応じて、複数回に分けて噴射してもよい。

【００９０】

エンジン１が高負荷領域Ａ２で運転している時、Ａ／Ｆは、理論空燃比に略一致するように設定される。高負荷側では、必要に応じてＡ／Ｆを理論空燃よりもリッチ、つまり空気過剰率を１以下（λ≦１）に設定してもよい。また、エンジン１が高負荷領域Ａ２で運転している時、必要に応じて外部ＥＧＲガスが燃焼室１７に導入される。対して、内部ＥＧＲガスの燃焼室１７への導入は実質的に停止される。

【００９１】

エンジン１が高負荷領域Ａ２で運転している時、燃焼開始時点での混合気の成層化を促進するため、燃焼室１７に強いスワール流が形成される。すなわち、スワール弁５６は、低負荷領域Ａ１と同等かそれ以下の開度に設定されるように制御される。

【００９２】

（高回転領域Ａ３）

エンジン１は、安定した運転を実現するため、高回転領域Ａ３において、ＳＩ燃焼を行う。

【００９３】

すなわち、エンジン１が高回転領域Ａ３で運転している時、インジェクタ６は、吸気行程を含む所定の期間で燃料を噴射する。例えば、運転ポイントＰ４では、図５の（ｄ）に示すように、インジェクタ６は、吸気行程から圧縮行程にわたる期間にわたって燃料を噴射する。

【００９４】

そして、点火プラグ２５は、圧縮行程の後期から膨張行程の初期までの期間（運転ポイントＰ４では、圧縮行程の後期）に１回の点火を行う。この点火によってＳＩ燃焼が圧縮上死点の直前に開始し、混合気の全てが火炎伝播により燃焼して、膨張行程の初期にＳＩ燃焼が終了する。

【００９５】

エンジン１が高回転領域Ａ３で運転している時、Ａ／Ｆは、略理論空燃比か、それよりもリッチ（λ≦１）となるように設定される。また、エンジン１の充填効率を高めるため、スワール弁５６は全開とされる。

【００９６】

＜強ノックの予測及び抑制＞

ノックは、一般に、ＳＩ燃焼が行われる火花点火式エンジンにおいて問題視されている現象である。詳しくは、点火プラグによる着火で混合気の燃焼が開始すると、火炎伝播によって燃焼が拡大していく。その間、未燃混合気（エンドガス）の温度及び圧力が局所的に高まって、自着火による燃焼が発生する場合がある。自着火による燃焼は火炎伝播による燃焼よりも急峻なため、その圧力振動が騒音や衝撃を形成し、ノックを発生させる。

【００９７】

通常のノックは、エンジンが高負荷の運転領域において低回転で運転しているときに発生し、回転数が高まって火炎伝播速度が早まることで解消されていく。しかし、ノックは、エンジンが高回転で運転しているときにも発生する。高回転で運転しているときに発生するノックは、低回転で運転しているときに発生するノックよりも強い傾向がある。そして、突発的に、通常のノックとは明らかに強度が異なる、強いノック（強ノック）が発生する場合がある。

【００９８】

ＳＰＣＣＩ燃焼が行われるこのエンジン１では、燃焼時における燃焼室１７の中の圧力は、一般的な火花点火式エンジンよりも高くなる。そのため、このエンジン１は、一般的な火花点火式エンジンと比べると、強ノックが発生し易い傾向がある。

【００９９】

強ノックは、頻度は少なくても、エンジン１にダメージを与える可能性が高い。そのた

め、強ノックは、エンジン１の信頼性を低下させる原因となる。一般的なノック抑制方法として、点火時期のリタード制御、すなわち膨張行程の初期に点火時期を遅角させることが行われている。この方法によっても強ノックを抑制することはできるが、燃焼効率が低下するし、出力の減少によって必要なトルクが得られないおそれもある。

【０１００】

それに対し、本発明者らは、燃焼状態から強ノックの発生が予測可能であることを見出した。その知見に基づき、このエンジン１の制御装置には、強ノックの発生が精度高く予測でき、その予測に基づいて、強ノックの選択的な抑制を可能にする技術が組み込まれている。

【０１０１】

具体的には、図３に示すように、ＥＣＵ８に、強ノック予測部８２及び強ノック抑制部８３が実装されている。強ノック予測部８２は、燃焼初期の所定のタイミングで、強ノックの発生を予測する処理を実行する。強ノック抑制部８３は、その予測に基づいて、そのタイミング以降の燃焼過程で、強ノックの発生を抑制する処理を実行する。次に、これら処理について、詳しく説明する。

【０１０２】

（強ノックの予測）

本発明者らは、様々な実験を行った結果、燃焼初期の燃焼状態に基づいて、ノック強度が精度高く検知できることを見出した。具体的には、燃焼初期に相当する、５０％よりも小さい所定の質量燃焼割合となる時期、好ましくは、質量燃焼割合が１０％となる時期（ｍｆｂ１０％時期）により、ノック強度が精度高く検知できることを見出した。

【０１０３】

ここでいうノック強度は、ノックの強さを表す指標であり、ノックに起因する筒内圧パルスの振幅値である。ノック強度は、筒内圧を演算処理することによって取得される。

【０１０４】

ノック強度を、図７を参照して具体的に説明する。図７の上側に示す波形は、ある燃焼サイクルにおける筒内圧変化を示している。燃焼後期に見られるパルス状の波形は、ノックを示している。このような筒内圧の圧力波形を、ハイパスフィルター（ＨＰＦ）などで処理することで、圧力波形から圧縮圧などのエンジン固有の圧力変動成分が除去される。それにより、図７の下側に示すように、ノックに起因する圧力パルスのみからなる圧力波形が抽出される。一般的には、その圧力波形の圧力パルスのうち、最大となる振幅値が、その燃焼サイクルにおけるノック強度とされる（単位：ｂａｒ）。

【０１０５】

質量燃焼割合（ＭＦＢ又はＭＢＦともいう）は、この技術分野で一般に用いられている、燃焼状態を示す指標である。質量燃焼割合は、概略、全燃料質量に対する燃焼した燃料質量の割合（％）に相当する。質量燃焼割合はまた、燃焼室１７に供給された１つの燃焼サイクルあたりの燃料の質量Ａのうち、燃焼した燃料の質量Ｂの比（Ｂ／Ａ、単位％）としてもよい。質量燃焼割合はまた、燃焼室１７に供給された燃料の全てが燃焼したときに発生する総発熱量Ｃに対する、対象とする時点までに発生した発熱量Ｄの割合（Ｄ／Ｃ、単位％）としてもよい。

【０１０６】

従って、ｍｆｂ１０％時期は、例えば、全燃料質量に対して燃焼した燃料質量の割合が１０％となる時期（単位：ｄｅｇ、「°」）とすることができる。ｍｆｂ１０％時期は、燃焼状態に関連した燃焼状態指標値に相当するものであり、燃焼が１０％進んだ時のクランク角度ともいえる。

【０１０７】

（ｍｆｂ１０％時期の算出）

ｍｆｂ１０％時期は、筒内圧に基づき、ＥＣＵ８によって算出される。そのｍｆｂ１０％時期の算出手順を、図８のフローチャートを用いて説明する。

【０１０８】

ＥＣＵ８は、メモリ８ｂに記憶されている筒内圧センサＳＷ６の信号（圧縮行程の後半から吸気行程の前半の信号）を抽出する（ステップＳ１）。その後、ＥＣＵ８は、抽出した筒内圧センサＳＷ６の信号を、ノックの周波数帯の信号が除去可能なＩＩＲフィルタ（不図示）に通す。それにより、筒内圧センサＳＷ６の信号からノックの信号が除去される（ステップＳ２）。

【０１０９】

そして、ＥＣＵ８は、ＩＩＲフィルタから出力された筒内圧センサＳＷ６の信号であって５０ｋＨｚでサンプリングされた信号を、メモリ８ｂに記憶されているクランク角センサＳＷ１１の信号を用いて、所定のクランク角度毎の信号に変換する（ステップＳ３）。そうして、ＥＣＵ８は、筒内圧センサＳＷ６の信号を筒内圧（絶対圧）に変換する（ステップＳ４）。

【０１１０】

続いて、ＥＣＵ８は、各クランク角度θにおける熱発生率△Ｑ（θ）を、得られた筒内圧を用いて算出する。そして、ＥＣＵ８は、クランク角度毎に熱発生率△Ｑ（θ）を積算することにより、各クランク角度θにおける熱発生量Ｑ（θ）を算出する（ステップＳ５）。

【０１１１】

次に、ＥＣＵ８は、熱発生量Ｑ（θ）の最小値（最小熱発生値Ｑｍｉｎ）、及び、最小熱発生値Ｑｍｉｎとなるときのクランク角度（ｍｆｂ０％時期）を算出する（ステップＳ６）。そして、ＥＣＵ８は、最小熱発生値Ｑｍｉｎが、０（ゼロ）となるように、熱発生量Ｑ（θ）を補正する（ステップＳ７）。

【０１１２】

その後、ＥＣＵ８は、熱発生量Ｑ（θ）の最大値（最大熱発生値Ｑｍａｘ）を算出する（ステップＳ８）。ＥＣＵ８は、その最大熱発生値Ｑｍａｘの１０％に相当する熱発生値Ｑ１０を算出する（ステップＳ９）。そうして、ＥＣＵ８は、熱発生値Ｑ１０となるときのクランク角度を算出し、このクランク角度を、ｍｆｂ１０％時期として決定する（ステップＳ１０）。

【０１１３】

（ｍｆｂ１０％時期とノック強度との関係）

ｍｆｂ１０％時期は、点火時期が略同一であっても、燃焼条件が異なれば、進角したり遅角したりする。燃焼条件が同じでも、燃焼の開始タイミング等のバラツキにより、進角したり遅角したりする。すなわち、点火時期が略同一でも、ｍｆｂ１０％時期のデータは、バラツキを持った一定の分布を形成する。

【０１１４】

図９に、ｍｆｂ１０％時期とノック強度との関係を表したグラフの一例を示す。このグラフは、強ノックが発生し易い所定の条件下で燃焼試験を行い、各燃焼データから得られたｍｆｂ１０％時期とノック強度との関係をプロットしたものである。点火時期は、略同一（圧縮上死点の直前）である。このグラフに認められるように、ｍｆｂ１０％時期が進角するとノック強度が増加してノックが発生する。

【０１１５】

そして、これらノックの中には、通常のノックとは明らかに異なる強ノック（例えば、ノック強度が４０ｂａｒを超え、更には１００ｂａｒを超えるようなノック）が含まれている。強ノックは、ピストン３等、燃焼室１７を構成している構造に物理的な障害を与えるおそれがあるノックであり、例えば、ノック強度が４０ｂａｒ以上のノックと定義できる。また、強ノックはノック強度が４５ｂａｒ以上のノックと定義してもよい。

【０１１６】

これら強ノックは、ｍｆｂ１０％時期が所定値以上に進角することで発生する（逆に所定角度未満では発生しない）傾向が認められる。すなわち、ＳＩ燃焼が開始した後、ＳＩ燃焼が早く進むほど、ノック強度は高くなる。そして、強ノックは、ＳＩ燃焼が著しく早く進み、ｍｆｂ１０％時期が所定値以上に進角した時に発生する。

【０１１７】
このような条件下で得られるｍｆｂ１０％時期は、確率分布（正規分布）に従って分布する。図１０の（ａ）に、そのようなｍｆｂ１０％時期の分布情報を例示する。
【０１１８】
上述したように、強ノックは、ｍｆｂ１０％時期が所定角度以上に進角した時に発生する。従って、ｍｆｂ１０％時期の分布情報から、所望する強ノックの発生確率に応じた所定のｍｆｂ１０％時期（それより進角すると強ノックが所定の確率で発生する可能性があると判定できる値、強ノック判定角度θｓ）を設定することができる。
【０１１９】
更に、本発明者らは、ｍｆｂ１０％時期と、燃焼初期の筒内圧との間には、一次的な相関関係があることも見出した。図１０の（ｂ）に、その一例を示す。図１０の（ｂ）の縦軸に示す燃焼初期の筒内圧（燃焼初期筒内圧Ｐｉ）は、燃焼初期のタイミングに相当する、圧縮上死点（０°ＣＡ）から圧縮上死点後９°ＣＡまでのタイミングにおいて、筒内圧センサＳＷ６で検出される筒内圧の平均値を示している。
【０１２０】
後述するように、このエンジン１の制御装置では、この燃焼初期筒内圧Ｐｉに基づいて強ノックの発生が予測される。なお、この燃焼初期筒内圧Ｐｉは一例であり、燃焼初期の所定のタイミングで得られる筒内圧センサＳＷ６の検出値であれば、１つの検出値であってもよいし、不連続なクランク角度での２つ以上の検出値の平均値であってもよい。
【０１２１】
この相関関係により、クランク角度に対して相対的な値である、ｍｆｂ１０％時期から、クランク角度に対して絶対的な値である、燃焼初期筒内圧Ｐｉへの変換が可能になる。従って、図１０の（ｂ）に示すように、ｍｆｂ１０％時期と燃焼初期筒内圧Ｐｉとの相関関係から、強ノック判定角度θｓに対応した燃焼初期筒内圧Ｐｉの値（強ノック判定閾値Ｐｓ、閾値に相当）が設定できる。
【０１２２】
このエンジン１の制御装置では、予め実験等によって得られた強ノック判定閾値Ｐｓが、強ノック予測部８２に設定されている。
【０１２３】
それにより、燃焼初期筒内圧Ｐｉが強ノック判定閾値Ｐｓ以下であれば、強ノック発生の可能性は無いと、高精度で判定でき、燃焼初期筒内圧Ｐｉが強ノック判定閾値Ｐｓ超であれば、強ノック発生の可能性が有ると、高精度で判定できる。
【０１２４】
この予測方法によれば、燃焼初期筒内圧Ｐｉに基づいて強ノックの発生を予測するので、燃焼後期はＣＩ燃焼が行われるＳＰＣＣＩ燃焼でも、燃焼初期には、点火によるＳＩ燃焼が行われるので、ＳＰＣＣＩ燃焼にも適用可能である。すなわち、運転領域に、ＳＩ燃焼が行われる領域と、ＳＰＣＣＩ燃焼が行われる領域とが混在している場合であっても、この予測方法であれば、制約を受けることなく適用できる。
【０１２５】
従って、このエンジン１では、ＳＩ燃焼が行われる高回転領域Ａ３だけでなく、ＳＰＣＣＩ燃焼が行われる高負荷領域Ａ２においても、強ノックの発生の予測及び抑制の各処理が行われる。各領域の間で、処理に差異を設ける必要もない。必要があれば、これら処理を低負荷領域Ａ１で行うことも可能である。
【０１２６】
このような強ノックの発生を予測する処理は、ＥＣＵ８によって実行される。すなわち、強ノック予測部８２が、燃焼初期筒内圧Ｐｉを強ノック判定閾値Ｐｓと比較する。そうすることにより、強ノックが発生する可能性の有無を判定する。強ノック予測部８２には、予め、強ノック判定閾値Ｐｓが設定されており、燃焼初期に筒内圧センサＳＷ６で検知される燃焼初期筒内圧Ｐｉと、その強ノック判定閾値Ｐｓとを比較することにより、強ノック予測部８２が、強ノックが発生する可能性の有無を判定する。

【０１２７】
（強ノックの抑制）
強ノックは、頻度が低いうえに突発的に発生する。更に、強ノックは、単発でもエンジン１の信頼性に与える影響は大きい。従って、予測が行われた燃焼サイクル以降の燃焼サイクルにおいて、ノックを抑制する処理を行っても、予測した強ノックは抑制できないし、強ノックが続いて発生するとは限らないので、適切でない。
【０１２８】
従って、強ノックの発生が予測されたのと同一の燃焼サイクルで、強ノックを抑制する処理を行う必要がある。具体的には、同じ燃焼サイクルでの燃焼過程において、強ノックが予測された後、かつ、強ノックが発生する前まで期間に、強ノックを抑制する処理を行う必要がある。
【０１２９】
しかし、そのような期間は僅かしかない。特に、エンジン１の回転数が高い領域では、燃焼期間が短くなるので、条件は更に厳しくなる。そこで、このエンジン１の制御装置では、そのような制約された条件の下でも強ノックの抑制が可能になるように、燃焼室１７の内部に燃料を追加噴射する。
【０１３０】
具体的には、強ノック予測部８２で強ノックが発生すると予測された場合、つまり燃焼初期筒内圧Ｐｉが強ノック判定閾値Ｐｓを超えていた場合、ＥＣＵ８（強ノック抑制部８３）は、燃焼室１７の内部に、本来的な要求量以上の燃料を追加して噴射する。
【０１３１】
このエンジン１には、燃焼室１７の内部に燃料を噴射するインジェクタ６が設置されている。インジェクタ６は、高圧で瞬時に燃料を噴射することができる。従って、このエンジン１では、強ノックが発生すると予測されると、強ノック抑制部８３は、インジェクタ６が燃料を追加噴射するように制御する。
【０１３２】
燃焼室１７の内部に、高圧で燃料が噴射されると、燃焼が進行している混合気が撹拌される。前述したように、ノックは、未燃混合気の温度及び圧力が局所的に高まることによって発生する。そのため、燃焼の過程で混合気が撹拌されると、混合気全体の温度が均質化されるので、未燃混合気の局所的な温度の上昇が抑制される。その結果、強ノックが抑制される。燃料であれば、既設のインジェクタ６を利用して噴射できる。燃料の気化による冷却作用が得られる利点もある。
【０１３３】
（燃焼バラツキへの対応）
上述したように、燃焼状態に関連したｍｆｂ１０％時期の分布情報を用いることで、所望する強ノックの発生確率に基づいた強ノック判定閾値Ｐｓを取得することができる。この強ノック判定閾値Ｐｓが、強ノック予測部８２に設定され、強ノック予測部８２が強ノック判定閾値Ｐｓに基づいて強ノックの発生を予測することで、強ノックの発生の有無が精度高く行える。
【０１３４】
しかし、燃焼条件によって燃焼状態は変化するし、同じ燃焼条件であっても、時間の経過によって燃焼状態が変化する可能性もある。また、エンジン１では、複数の気筒で燃焼が行われるが、これら各気筒での燃焼状態は、程度差はあるものの、それぞれ異なっているのが普通である。また更に、実機を量産する観点からは、加工のバラツキ等により、各エンジン１間や各気筒間において、燃焼状態に差が生じるため、これらを考慮する必要もある。燃焼状態が変化すれば、それに伴ってｍｆｂ１０％時期の分布情報も変化する。
【０１３５】
このような燃焼状態の差異（燃焼バラツキ）は、強ノック判定閾値Ｐｓの設定精度に大きく影響する。本来、強ノックを予測してから強ノックを抑制するまでに、時間的余裕があれば、この程度の差異は問題にはならない。しかし、このエンジン１の制御装置では、

同じ燃焼サイクルにおいて、強ノックの予測と抑制とを行うため、このような差異を無視できるほどの時間的余裕は無い。

【０１３６】

そのため、強ノック判定閾値Ｐｓは、燃焼バラツキを考慮すると、余裕のある安全な値に設定せざるを得ない。そうした場合、強ノックの予測精度が低下するため、不必要な燃料の追加噴射が増加し、煤の増加や燃費の悪化などの不具合を招く。

【０１３７】

それに対し、本発明者らは、このような比較的高圧縮な条件下で行われる燃焼について、様々な実験を行った結果、強ノックが発生するのは、所定の運転領域にほぼ限定されるとみなしても、実用的には問題ないことを見出した。

【０１３８】

特に、このエンジン１は、ＳＰＣＣＩ燃焼を行うため、燃焼時の筒内圧は、ＳＩ燃焼のみを行うエンジンよりも高くなるように幾何学的圧縮比が設計されている。ＳＰＣＣＩ燃焼では、上述したように、燃焼形態と燃焼タイミングとが、精度高く制御される利点がある。そこで、このエンジン１の制御装置には、かかる知見に基づき、燃焼バラツキの影響を最小限に抑制できるように工夫されている。

【０１３９】

具体的には、図３に示したように、ＥＣＵ８に、強ノック領域判定部８４が実装されている。強ノック領域判定部８４は、エンジン１の運転状態に基づいて、対象とする燃焼が行われる運転領域が、強ノックが発生する領域（強ノック発生領域）であるか否かを判定する。そして、強ノック領域判定部８４で強ノック発生領域であると判定され、かつ、強ノック予測部で強ノックの発生が予測された場合に限って、強ノック抑制部が強ノック抑制処理を実行するように構成されている。

【０１４０】

（強ノック発生領域）

強ノック発生領域は、エンジン１の全運転領域のうち、強ノックが発生する確率の高い領域である（強ノック高発生領域ともいえる）。強ノック発生領域以外の領域は、強ノックが発生する確率は低く、実用的な観点からは、強ノックが発生しない領域とみなすことができる。その強ノック発生領域を、図４に、符号Ｒｋで示す（周囲がハッチングされた領域）。

【０１４１】

本発明者らは、強ノックの発生は、冷却水や吸気の温度など、外部環境の温度変化に対しては、ほとんど影響を受けないことを見出した。そのため、強ノック判定領域Ｒｋは、冷却水や吸気の温度など、外部環境の温度が高低に変化しても、変化することなく一定に設定されている。従って、エンジン１の運転領域マップ７０が、冷間時や温間時など、温度の変化に応じて変更されても、強ノック判定領域Ｒｋは、一定に維持される。

【０１４２】

強ノック発生領域Ｒｋは、エンジン１の全運転領域のうち、高回転側の運転領域のうち、アイドル運転を含む最低負荷から、全開負荷を含む最高負荷までの全負荷の領域（高回転全負荷領域）を含む。本実施形態の高回転全負荷領域は、高回転領域Ａ３とほぼ重複している。

【０１４３】

更に強ノック発生領域Ｒｋは、エンジン１の運転領域のうち、低回転側の運転領域を含まない中回転の運転領域であって高負荷側の運転領域（中回転高負荷領域）を含む。本実施形態の中回転高負荷領域は、高負荷領域Ａ２の高回転側の一部領域と重複している。

【０１４４】

従って、強ノック発生領域Ｒｋには、ＳＩ燃焼が行われる領域とＳＰＣＣＩ燃焼が行われる領域の双方が含まれるが、上述したように、開示する強ノックの予測方法によれば、制約を受けることなく行える。従って、強ノックの予測及び抑制の各制御が共用できるので、制御の複雑化を回避できる。

【０１４５】
（強ノックの予測制御及び抑制制御）
図１１、図１２に、このエンジン１で行われる強ノックの予測制御及び抑制制御の一例を示す。図１１は、強ノックの、領域判定制御、予測制御、及び抑制制御に関するフローチャートであり、図１２は、これら制御に関連する主な状態量の変化を、クランク角度に沿って例示した状態図である。
【０１４６】
図１１に示すように、ＥＣＵ８は、エンジン１の運転が開始されると、各センサＳＷ１～ＳＷ１７から出力される信号を読み込む（ステップＳ１１）。それにより、ＥＣＵ８は、これら入力値と、メモリ８ｂに記憶されている、運転領域マップ７０等の制御データとに基づいて、エンジン１の運転状態を判断する。
【０１４７】
例えば、ＥＣＵ８は、アクセル開度センサＳＷ１２の出力信号に基づいて、出力が要求されるトルクを算出する。また、ＥＣＵ８は、クランク角センサＳＷ１１の出力信号からエンジン１の回転数を算出する。そして、ＥＣＵ８（強ノック領域判定部８４）は、算出されたトルク及び回転数から、運転領域マップ７０における現時点の存在位置を特定し、エンジン１が強ノック発生領域Ｒｋで運転しているか否かを判定する（ステップＳ１２）。
【０１４８】
その結果、強ノック領域判定部８４が、エンジン１が強ノック発生領域Ｒｋで運転していないと判定した場合、ＥＣＵ８は、その時の燃焼では、強ノックの予測制御及び抑制制御は実行しない。すなわち、その運転領域での燃焼では、強ノックが発生する確率は極めて低いので、燃料を追加噴射しない。それにより、燃費の悪化や煤の増加を抑制できる。
【０１４９】
一方、強ノック領域判定部８４が、エンジン１が強ノック発生領域Ｒｋで運転していると判定した場合、ＥＣＵ８は、筒内圧センサＳＷ６から入力される検出信号に基づいて、各燃焼サイクルでの燃焼初期筒内圧Ｐｉを取得する（ステップＳ１３）。具体的には、図１２に示すように、強ノック予測部８２が、圧縮上死点（０°ＣＡ）から圧縮上死点後９°ＣＡまでの期間に検出される筒内圧の検出値からその平均値を算出し、これを燃焼初期筒内圧Ｐｉとする。
【０１５０】
その燃焼サイクルにおいて、更にクランク角度が数度進む間に、強ノック予測部８２は、取得した燃焼初期筒内圧Ｐｉと強ノック判定閾値Ｐｓとを比較する（ステップＳ１４）。強ノック判定閾値Ｐｓは、燃焼バラツキを考慮して、余裕のある安全な値に設定されている。従って、強ノックの発生を高確率で予測できる。そして、強ノック判定閾値Ｐｓは、強ノック予測部８２に予め設定されているので、瞬時に比較できる。
【０１５１】
その結果、燃焼初期筒内圧Ｐｉが強ノック判定閾値Ｐｓを超えた場合には、強ノック予測部８２は、強ノックが発生すると予測し、燃料を追加噴射するようにインジェクタ６に制御信号を出力する（ステップＳ１５，Ｓ１６）。
【０１５２】
図１２に示すように、インジェクタ６への制御信号が出力された後、実際に燃料が噴射されるまでにはタイムラグ（この例では１０°ＣＡ程度）が発生する。強ノック予測部８２は、このタイムラグを考慮して制御信号を出力する。それにより、ノックが発生する直前に燃料が追加噴射される。
【０１５３】
強ノックが発生する直前に燃料が噴射されることで、本来であれば、図１２において仮想線で示すようなノック強度の大きなノックが発生するところが、実線で示すような、ノック強度の小さいノックが発生する。すなわち、強ノックの発生が抑制される。
【０１５４】

一方、強ノック予測部８２が、燃焼初期筒内圧Ｐｉと強ノック判定閾値Ｐｓとを比較した結果、燃焼初期筒内圧Ｐｉが強ノック判定閾値Ｐｓ以下であった場合には、強ノック予測部８２は、強ノックは発生しないと予測し、燃料の追加噴射を指示することなく、処理を終了する（ステップＳ１７）。

【０１５５】

ＥＣＵ８は、このような一連の処理を、燃焼サイクルごとに実行する。

【０１５６】

なお、ノック抑制の観点からすれば、強ノックの発生が予測される特定の燃焼サイクルだけでなく、強ノックの発生がある程度推測される不特定多数の燃焼サイクルで燃料を追加噴射して強ノックを抑制することも可能である。しかし、追加噴射に用いられる燃料は、エンジン１の運転に必要な燃料とは別であることから、多数の燃焼サイクルで燃料を追加噴射すると、燃費が悪化する。また、このような燃料の追加噴射は、煤の増加を招く。

【０１５７】

それに対し、このエンジン１の制御装置では、強ノックが予測された特定の燃焼サイクルだけが選択されて燃料が追加噴射されるので、燃料を追加噴射する頻度を最小限に抑制でき、強ノックを効率的かつ効果的に抑制できる。

【０１５８】

また、強ノックを安定して抑制する観点からは、追加噴射する燃料の量は多い方が有効である。しかし、燃料の追加噴射量が多くなれば、その分だけ煤も増加する。同じ燃焼サイクルで予測から追加噴射まで行うため、燃料が噴射できる時間が短いという制約もある。従って、これらの点を考慮すると、追加噴射する燃料の量（質量）は、燃料が追加噴射される燃焼サイクルにおいて噴射される燃料の全量（噴射燃料総質量）の５％以上１０％以下に設定するのが好ましい。

【０１５９】

追加噴射する燃料の量は、筒内圧の値に基づいて設定してもよい。例えば、追加噴射する燃料の量が、燃焼初期筒内圧Ｐｉと強ノック判定閾値Ｐｓとの差が大きくなるほど、多くなるように設定することが考えられる。そうすれば、強ノックの安定した抑制と、煤の抑制とを効率よく実現できる。

【０１６０】

このように、開示する技術にかかるエンジンの制御装置によれば、強ノックの予測と抑制とが、同一の燃焼サイクルにおいて行われる。従って、ノック全般を大まかに抑制するのではなく、強ノックを選択的に抑制できるので、効率的であり、燃費の低下を招くことなく、エンジンの信頼性を向上させることができる。

【０１６１】

また、このエンジンの制御装置によれば、統計的な分布情報から得られる強ノックの発生確率に基づいて、強ノックの発生予測の基準となる閾値が取得される。従って、頻度が少ないうえに突発的に発生する強ノックであっても、高精度な予測が行える。

【０１６２】

更に、その閾値の信頼性は、燃焼バラツキによって低下するおそれがあるが、このエンジンの制御装置では、燃焼バラツキを考慮して、閾値が余裕のある安全な値に設定されている。従って、燃焼バラツキの影響を低減でき、高精度な予測が安定して行える。

【０１６３】

しかし、閾値を余裕のある安全な値に設定すると、不必要な燃料の追加噴射が増加し、それに伴って煤も増加する。それに対し、このエンジンの制御装置では、予め強ノックの予測及び抑制の各制御を行う領域が、強ノックが発生する特定の領域に限定されているので、そのような不具合を抑制できる。

【０１６４】

強ノックを高精度かつ効果的に抑制できるので、このエンジンの制御装置は、特に高圧縮比のエンジンに有効である。

【０１６５】

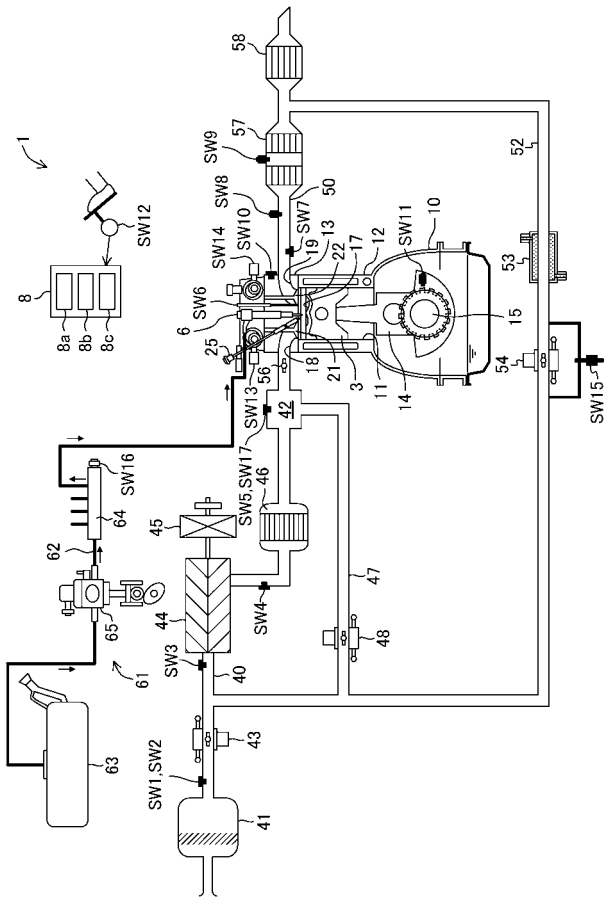
開示する技術にかかるエンジンの制御装置は、上述した実施形態に限定されず、それ以外の種々の構成をも包含する。例えば、実施形態では、ＳＰＣＣＩ燃焼を行うエンジン１を例示したが、開示する技術にかかるエンジンの制御装置は、通常の火花点火式エンジンにも適用できる。また、エンジン１の具体的構造や具体的制御は、一例であり、仕様に応じて適宜変更可能である。

【符号の説明】

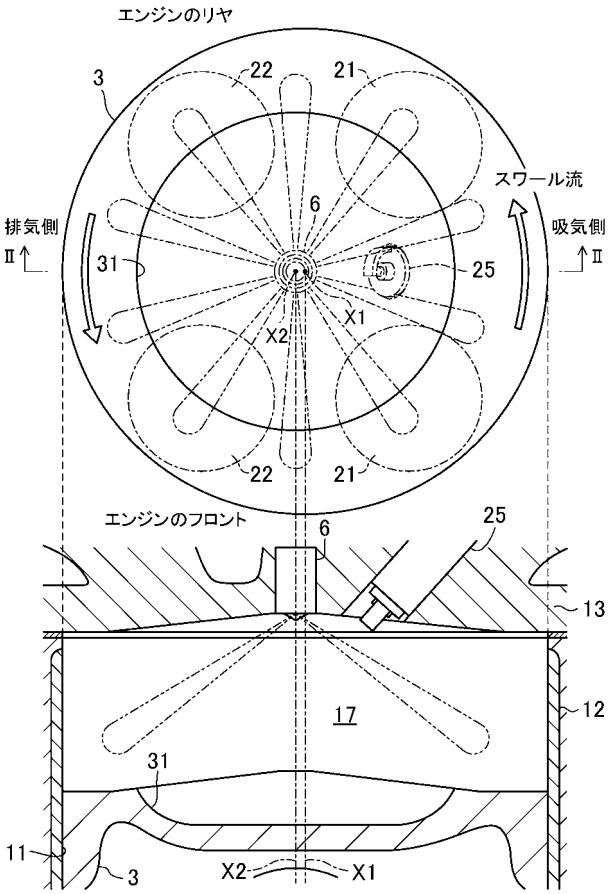
【０１６６】

１　エンジン
６　インジェクタ（燃料噴射弁）
１０　エンジン本体
１１　シリンダ（気筒）
１７　燃焼室
２５　点火プラグ
７０　運転領域マップ
８２　強ノック予測部
８３　強ノック抑制部
８４　強ノック領域判定部

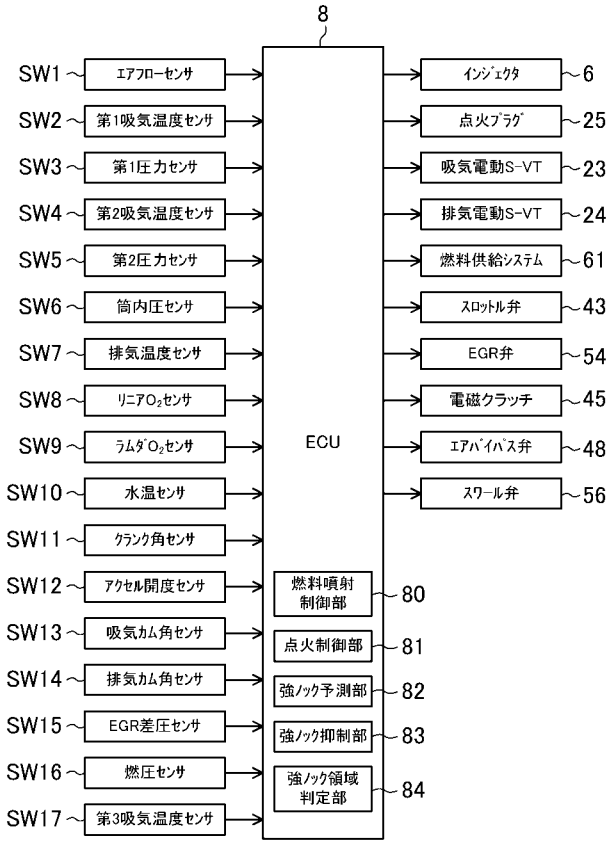
【図１】



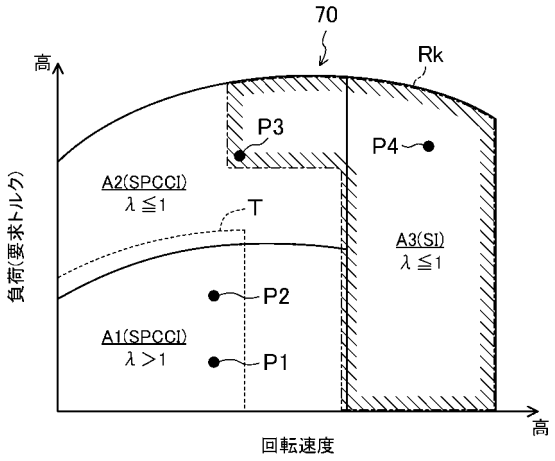
【図２】



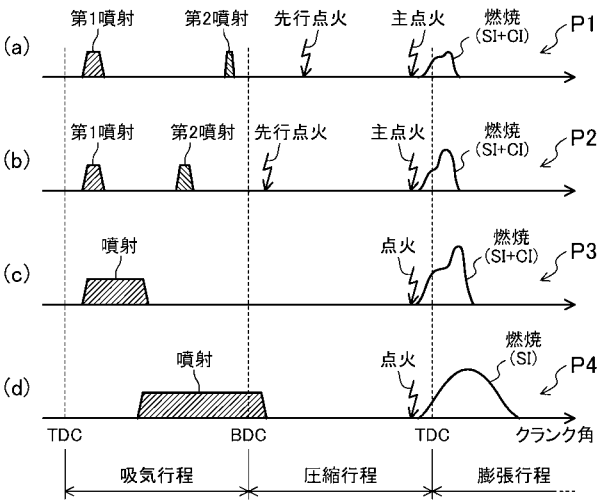
【図３】


8
SW1
エアフローセンサ
SW2
第1吸気温度センサ
SW3
第1圧力センサ
SW4
第2吸気温度センサ
SW5
第2圧力センサ
SW6
筒内圧センサ
SW7
排気温度センサ
SW8
リニアO2センサ
SW9
ラムダO2センサ
SW10
水温センサ
SW11
クランク角センサ
SW12
アクセル開度センサ
SW13
吸気カム角センサ
SW14
排気カム角センサ
SW15
EGR差圧センサ
SW16
燃圧センサ
SW17
第3吸気温度センサ
ECU
燃料噴射制御部
80
点火制御部
81
強ノック予測部
82
強ノック抑制部
83
強ノック領域判定部
84
インジェクタ
6
点火プラグ
25
吸気電動S-VT
23
排気電動S-VT
24
燃料供給システム
61
スロットル弁
43
EGR弁
54
電磁クラッチ
45
エアバイパス弁
48
スワール弁
56

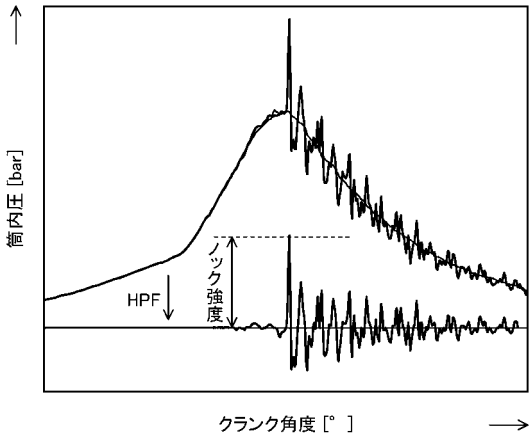
【図４】


70
Rk
高
負荷(要求トルク)
P3
P4
A2(SPCCI)
λ≦1
T
A3(SI)
λ≦1
P2
A1(SPCCI)
λ＞1
P1
高
回転速度

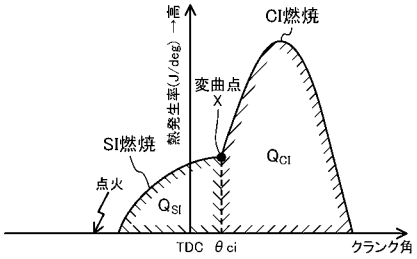
【図５】


(a)
第1噴射
第2噴射
先行点火
主点火
燃焼
(SI+CI)
P1
(b)
第1噴射
第2噴射
先行点火
主点火
燃焼
(SI+CI)
P2
(c)
噴射
点火
燃焼
(SI+CI)
P3
(d)
噴射
点火
燃焼
(SI)
P4
TDC
BDC
TDC
クランク角
吸気行程
圧縮行程
膨張行程

【図７】


筒内圧 [bar]
HPF
ノック強度
クランク角度 [°]

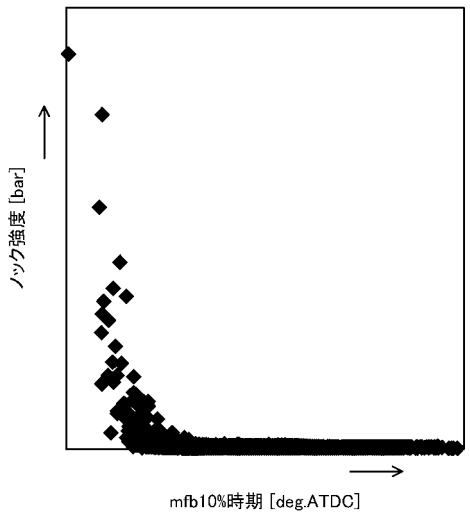
【図６】


熱発生率(J/deg)
CI燃焼
変曲点
X
SI燃焼
点火
Q_{SI}
Q_{CI}
TDC θci
クランク角

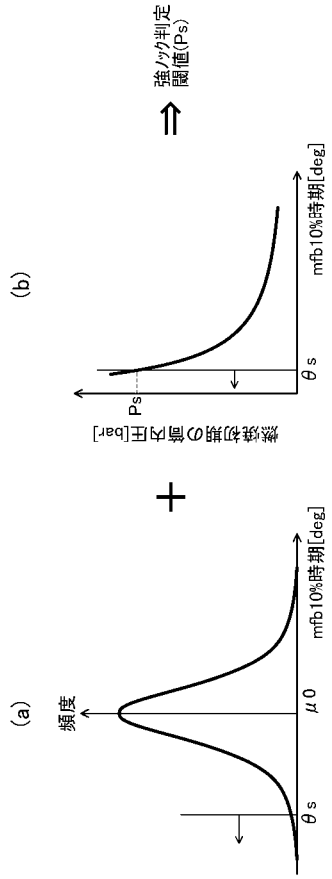
【図８】


スタート
S1
メモリから筒内圧センサの信号を抽出
S2
IIRフィルタを通過させてノッキングの信号を除去する
S3
筒内圧センサの信号をクランク角毎の信号に変換
S4
筒内圧センサの信号を筒内圧(圧力)に変換
S5
各クランク角における熱発生量Q(θ)を算出
S6
熱発生量Qの最小値Qmin、mfb0%時期を算出
S7
熱発生量Qの最小値Qminが0[J]となるように熱発生量Q(θ)を補正
S8
熱発生量Qの最大熱発生量Qmaxを算出
S9
最大熱発生量Qmaxの10%に相当する熱発生値Q10を算出
S10
熱発生値Q10となるクランク角をmfb10%時期に
リターン

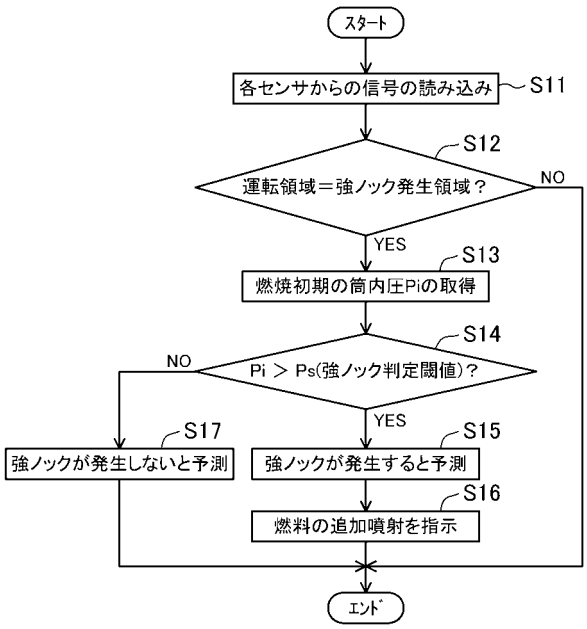
【図９】


ノック強度 [bar]
mfb10%時期 [deg.ATDC]

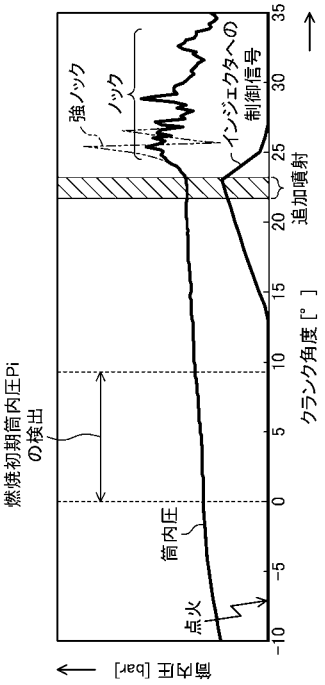
【図１０】


強ノック判定閾値(Ps)
(b)
mfb10%時期[deg]
θs
Ps
燃焼初期の筒内圧[bar]
+
(a)
頻度
mfb10%時期[deg]
μ0
θs

【図１１】


スタート
各センサからの信号の読み込み
S11
S12
運転領域＝強ノック発生領域？
NO
YES
S13
燃焼初期の筒内圧Piの取得
S14
NO
Pi ＞ Ps(強ノック判定閾値)？
YES
S17
強ノックが発生しないと予測
S15
強ノックが発生すると予測
S16
燃料の追加噴射を指示
エンド

【図１２】


強ノック
ノック
インジェクタへの制御信号
追加噴射
燃焼初期筒内圧Piの検出
筒内圧
点火
35
30
25
20
15
10
5
0
−5
−10
クランク角度［°］
筒内圧［bar］

フロントページの続き

(51)Int.Cl.	F I		テーマコード（参考）
	Ｆ０２Ｄ 45/00	３６８Ｓ	
	Ｆ０２Ｄ 43/00	３０１Ｂ	
	Ｆ０２Ｄ 43/00	３０１Ｈ	

(72)発明者 津村 雄一郎
広島県安芸郡府中町新地３番１号 マツダ株式会社内
(72)発明者 田中 大介
広島県安芸郡府中町新地３番１号 マツダ株式会社内

Ｆターム(参考) 3G301 HA04 HA11 HA13 JA02 JA22 KA08 KA23 LB04 MA01 MA11
MA18 NA01 NA08 NE14 NE15 NE17 NE19 PA01Z PA07Z PA10Z
PB03A PB03Z PB08Z PC01A PC01Z PC08A PC08Z PD08Z PD11Z PE03Z
PE05Z PE08Z PF03Z
3G384 AA06 BA04 BA09 BA13 BA18 BA24 BA27 CA06 DA02 DA55
EB17 EC01 ED07 FA01Z FA06Z FA08Z FA15Z FA28Z FA29Z FA33Z
FA42Z FA45Z FA58Z FA86Z