

(19)日本国特許庁(JP)

(12)特許公報(B2)

(11)特許番号
特許第7694366号
(P7694366)

(45)発行日 令和7年6月18日(2025.6.18)

(24)登録日 令和7年6月10日(2025.6.10)

(51)国際特許分類

F I

F 0 2 B 19/12 (2006.01)

F 0 2 B 19/12 B

F 0 2 B 19/16 (2006.01)

F 0 2 B 19/16 B

請求項の数 6 (全20頁)

(21)出願番号	特願2021-198058(P2021-198058)	(73)特許権者	000003137
(22)出願日	令和3年12月6日(2021.12.6)		マツダ株式会社
(65)公開番号	特開2023-84003(P2023-84003A)		広島県安芸郡府中町新地3番1号
(43)公開日	令和5年6月16日(2023.6.16)	(74)代理人	110001427
審査請求日	令和6年5月21日(2024.5.21)		弁理士法人前田特許事務所
		(72)発明者	原田 雄司
			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	内田 健司
			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	大野 諒平
			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	城所 将之
			最終頁に続く

(54)【発明の名称】 エンジン

(57)【特許請求の範囲】

【請求項1】

シリンダブロック、シリンダヘッド及びピストンで形成される主燃焼室と、
前記主燃焼室に開口する複数の噴孔を有する副室と、
前記副室内の混合気に点火する点火プラグと、を備えるエンジンであって、
前記主燃焼室の圧縮比 ϵ は、1.4以上2.4以下であり、
前記副室の容積 V と前記圧縮比 ϵ との積である指標 $V \cdot \epsilon$ は、 1.03 cm^3 以上 5.92 cm^3 以下であり、
エンジンの高負荷高回転運転条件において、前記副室から前記主燃焼室へのエネルギー伝達率の最大値 RE_{Tmax} は、 0.95 J/deg. 以上 1.6 J/deg. 以下である、エンジン
。

【請求項2】

シリンダブロック、シリンダヘッド及びピストンで形成される主燃焼室と、
前記主燃焼室に開口する複数の噴孔を有する副室と、
前記副室内の混合気に点火する点火プラグと、を備えるエンジンであって、
前記主燃焼室の圧縮比 ϵ は、1.4以上2.4以下であり、
前記副室の容積 V と前記圧縮比 ϵ との積である指標 $V \cdot \epsilon$ は、 1.03 cm^3 以上 5.92 cm^3 以下であり、
前記混合気を形成するための燃料を噴射するインジェクタは、その燃料を前記主燃焼室に
噴射するように設けられている、エンジン。

【請求項 3】

請求項 1 又は 2 に記載のエンジンにおいて、

前記指標 $V \cdot \varepsilon$ は、 1.95 cm^3 以上 5.57 cm^3 以下である、エンジン。

【請求項 4】

請求項 3 に記載のエンジンにおいて、

前記指標 $V \cdot \varepsilon$ は、 3.18 cm^3 以上 4.37 cm^3 以下である、エンジン。

【請求項 5】

請求項 1 から 4 のいずれか 1 つに記載のエンジンにおいて、

前記副室の容積 V は、 0.12 cm^3 以上 0.328 cm^3 以下である、エンジン。

【請求項 6】

請求項 1 から 5 のいずれか 1 つに記載のエンジンにおいて、

前記噴孔の数は、4 以上 6 以下である、エンジン。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本開示は、エンジンに関する。

【背景技術】

【0002】

レシプロエンジンの熱効率を高める技術として、プレチャンバ・イグニッションが知られている。これは、シリンダブロック、シリンダヘッド及びピストンによって形成される主燃焼室とは別に小さな副室（プレチャンバ）を設け、その副室で混合気に点火し、その副室の噴孔から火炎をジェット噴流にして主燃焼室に噴出させるようにしたものである。通常の火炎伝播よりも主燃焼室での混合気の燃焼が速くなるため、熱効率が向上するとして注目されている。点火プラグの先端部を主燃焼室と隔てるキャップ状の隔壁で覆うことによって副室が形成されており、その隔壁に複数の噴孔が形成されている。

【0003】

プレチャンバ・イグニッションには、アクティブ式とパッシブ式とがある。アクティブ式は、副室内にインジェクタを持ち、着火に必要な混合気を副室内で形成する。パッシブ式は、副室内にインジェクタを持たず、圧縮行程中に主燃焼室で形成した混合気を噴孔から点火プラグまわりに導く。特許文献 1 にはアクティブ式プレチャンバ・イグニッションの例が示され、特許文献 2 にはパッシブ式プレチャンバ・イグニッションの例が示されている。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0004】

【文献】特開 2018-66369 号公報

【文献】特開 2021-113549 号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0005】

パッシブ式の場合、副室容積と噴孔の径及び数が決まると、副室から主燃焼室に噴出する火炎の噴流ポテンシャル、すなわち、副室から主燃焼室へのエネルギー伝達率の最大値 RET_{max} が、一義的に決まってくる。そのため、エンジンの中負荷運転での熱効率改善要求と高負荷運転でのノッキング抑制要求との両立が難しいとされている。

【0006】

例えば、中負荷運転では、 NO_x 排出量の低減や燃費性能の向上のために EGR（排気ガスの再循環）が実行される。その EGR ガスが副室に流入するため、点火しても失火しやすくなる。中負荷運転での失火防止・熱効率改善の要求に応えるべく、混合気が副室に流入しやすくし、且つ噴流ポテンシャルを大きくする観点から副室の仕様を決めることが考えられる。しかし、その場合、高負荷運転においては濃混合気が副室に入るから、噴流

10

20

30

40

50

ポテンシャルが過度に大きくなってノッキングを発生しやすくなる。一方、高負荷でのノッキング抑制のために、噴流ポテンシャルを抑える観点から副室の仕様を決めると、中負荷運転での上記要求に応えることができなくなる。

【0007】

本開示の目的は、エンジンの中負荷運転での熱効率改善要求と高負荷運転でのノッキング抑制要求との両立を図ることにある。

【課題を解決するための手段】

【0008】

本願発明者は、プレチャンバ・イグニッションについて種々検討した結果、この点火燃焼方式においても、中負荷 EGR 運転での熱効率改善要求と高負荷高回転運転でのノッキング抑制要求とを両立できることを見出した。また、本願発明者は、高負荷高回転運転時におけるノッキング指標（ノック強度）が噴流ポテンシャルの関数であって、当該関数には極小値（変曲点）が存在することを発見した。これは、噴流ポテンシャルを当該極小値付近の範囲内に収めることによって、高負荷高回転運転時でのノッキングの発生を抑制できることを、意味する。

【0009】

本開示に係るエンジンは、シリンダブロック、シリンダヘッド及びピストンで形成される主燃焼室と、上記主燃焼室に開口する複数の噴孔を有する副室と、上記副室内の混合気に点火する点火プラグと、を備えるエンジンであって、上記主燃焼室の圧縮比 ϵ は、1.4 以上 2.4 以下であり、上記副室の容積 V と上記圧縮比 ϵ との積である指標 $V \cdot \epsilon$ は、1.03 cm³ 以上 5.92 cm³ 以下である。

【0010】

圧縮比 ϵ は、どのような熱効率を狙うか又は着火時期をどうするか要求から決めることができる。その一方で、圧縮比 ϵ が小さいときは、主燃焼室から副室への空気ないし混合気の充填度が低くなる。そこで、中負荷 EGR 運転時において点火によって確実に着火する混合気を、副室に得る観点から、圧縮比 ϵ を 1.4 以上としている。但し、圧縮比 ϵ が大きくなると高負荷高回転時にノッキングを生じ易くなるため、その上限を 2.4 としている。

【0011】

指標 $V \cdot \epsilon$ については、高負荷高回転運転時でのノッキング抑制、及び中負荷 EGR 運転での熱効率の向上の観点から、1.03 cm³ 以上 5.92 cm³ 以下としている。

【0012】

ここで、噴流ポテンシャルを大きくするためには、副室での熱発生量を多くする観点から、副室の容積 V を大きくする必要がある。反対に、噴流ポテンシャルを小さくするためには、容積 V を小さくする必要がある。このため、指標 $V \cdot \epsilon$ は、噴流ポテンシャルが大きいほど大きい一方、噴流ポテンシャルが小さいほど小さい。

【0013】

噴流ポテンシャルは、圧縮比 ϵ が大きいほど、主燃焼室から副室への混合気の充填度が高まるので、大きくなりやすい。同じ大きさの噴流ポテンシャルを得るために、圧縮比 ϵ が大きいときには容積 V を小さくする必要がある一方、圧縮比 ϵ が小さいときには容積 V を大きくする必要がある。このため、圧縮比 ϵ を容積 V に掛け合わせることで得られる指標 $V \cdot \epsilon$ において、圧縮比 ϵ の変化量（増大量／減少量）は、容積 V の変化量（減少量／増大量）によって均される。

【0014】

これにより、指標 $V \cdot \epsilon$ は、圧縮比 ϵ が増減しても、圧縮比 ϵ の増減を打ち消すように容積 V が増減するので、圧縮比 ϵ の影響が緩和される。指標 $V \cdot \epsilon$ は、主に、噴流ポテンシャルに依存する。

【0015】

したがって、容積 V 及び圧縮比 ϵ に基づいて、指標 $V \cdot \epsilon$ を求めることによって、圧縮比 ϵ の大小にかかわらず、噴流ポテンシャルを一義的に定めることができる。

10

20

30

40

50

【0016】

そして、指標 $V \cdot \varepsilon$ を 1.03 cm^3 以上 5.92 cm^3 以下にすることによって、噴流ポテンシャルを、高負荷高回転運転時でのノッキング指標の関数における上記極小値付近の範囲内に、収めることができる。これにより、高負荷高回転運転時において、噴流ポテンシャルが過度に大きくなって、ノッキングが発生することを抑制することができる。

【0017】

さらに、指標 $V \cdot \varepsilon$ が 1.03 cm^3 以上であるから、中負荷 EGR 運転において噴流ポテンシャルが過度に小さくなることを避けられる。すなわち、中負荷 EGR 運転において、所期の噴流ポテンシャルを得て熱効率を高める上で有利になる。

【0018】

以上、エンジンの中負荷 EGR 運転での熱効率改善要求と高負荷高回転運転でのノッキング抑制要求とを、両立することができる。一実施形態では、エンジンの高負荷高回転運転条件において、上記副室から上記主燃焼室へのエネルギー伝達率の最大値 RET_{max} は、 0.95 J/deg. 以上 1.6 J/deg. 以下である。これによれば、高負荷高回転運転におけるノッキング抑制の確度を、より高めることができる。一実施形態では、上記混合気を形成するための燃料を噴射するインジェクタは、その燃料を上記主燃焼室に噴射するように設けられている。これによれば、パッシブ式のプレチャンバ・イグニッションとして、副室内にインジェクタを持たなくても、混合気を、噴孔から副室内における点火プラグまわりに導くことができる。

【0019】

一実施形態では、上記指標 $V \cdot \varepsilon$ は、 1.95 cm^3 以上 5.57 cm^3 以下である。これによれば、高負荷高回転運転時においてノッキングを抑制する上で、さらに有利になる。

【0020】

一実施形態では、上記指標 $V \cdot \varepsilon$ は、 3.18 cm^3 以上 4.37 cm^3 以下である。これによれば、高負荷高回転運転時においてノッキングを抑制する上で、より一層、有利になる。

【0022】

一実施形態では、上記副室の容積 V は、 0.12 cm^3 以上 0.328 cm^3 以下である。副室の容積 V は、それ自体が、噴流ポテンシャルの大小に影響する。容積 V が 0.12 cm^3 以上であるから、中負荷 EGR 運転時においても比較的大きな噴流ポテンシャルが得られる。一方、容積 V の上限を 0.328 cm^3 としているから、高負荷高回転時において噴流ポテンシャルが過大になることが避けられる。

【0023】

一実施形態では、上記噴孔の数は、4 以上 6 以下である。これによれば、噴流ポテンシャルを、好適な範囲に収めやすくなる。

【発明の効果】

【0025】

本開示によれば、エンジンの中負荷運転での熱効率改善要求と高負荷運転でのノッキング抑制要求とを、両立することができる。

【図面の簡単な説明】

【0026】

【図1】エンジンの概略構成図。

【図2】プレチャンバプラグを示す図。図2 (a) は一部断面にした側面図。図2 (b) は下方から見た図。

【図3】エンジンの製造方法の工程図。

【図4】エンジンの圧縮行程及び膨張行程における主燃焼室及び副室各々の圧力変化を示すグラフ図。

【図5】エンジンの圧縮行程及び膨張行程における副室から主燃焼室へのエネルギー伝達率の変化を示すグラフ図。

10

20

30

40

50

【図 6】シミュレーションによる $\Delta P_{\max}$ 計算結果と $F_1(\varepsilon) \times F_1(\beta)$ 計算結果との相関を示すグラフ図。

【図 7】シミュレーションによる ΔP_{ig} 計算結果と $F_2(\varepsilon) \times F_2(\beta)$ 計算結果との相関を示すグラフ図。

【図 8】シミュレーションによる $RE T_{\max}$ 計算結果と $F_3(\varepsilon) \times F_3(\beta) \times F_3(V)$ 計算結果との相関を示す図。

【図 9】噴流ポテンシャル $RE T_{\max}$ とノック指標 K_i 値との関係を示すグラフ図。

【図 10】エンジンの熱発生率の変化を示すグラフ図。

【図 11】噴流ポテンシャル $RE T_{\max}$ と噴孔の総断面積 S_t との関係を示すグラフ図。

【図 12】噴流ポテンシャル $RE T_{\max}$ と第 1 指標 $S_t \cdot \varepsilon$ との関係を示すグラフ図。

【図 13】噴流ポテンシャル $RE T_{\max}$ と副室の容積 V との関係を示すグラフ図。

【図 14】噴流ポテンシャル $RE T_{\max}$ と第 2 指標 $V \cdot \varepsilon$ との関係を示すグラフ図。

【発明を実施するための形態】

【0027】

以下、本開示を実施するための形態を図面に基づいて説明する。以下の好ましい実施形態の説明は、本質的に例示に過ぎず、本開示、その適用物或いはその用途を制限することを意図するものではない。

【0028】

＜エンジンの構成＞

本実施形態は、車両に搭載される車両駆動用のレシプロエンジンに関する。

【0029】

図 1 に示すように、エンジン 1 は、シリンダブロック 2 及びシリンダヘッド 3 を備える。シリンダブロック 2 には、気筒（シリンダ）4 が形成されている。この気筒 4 に設けられたピストン 5 には、クランクシャフトに連結されたコンロッド 7 が接続され、これにより、ピストン 5 が気筒 4 を往復動するようになっている。シリンダブロック 2、シリンダヘッド 3 及びピストン 5 によって、エンジンの主燃焼室 6 が形成されている。

【0030】

シリンダヘッド 3 には、吸気ポート 8 及び排気ポート 9 が形成されている。これら吸気ポート 8 及び排気ポート 9 には、図示を省略するが、吸気バルブ及び排気バルブが主燃焼室 6 側の開口を開閉するように設けられている。

【0031】

図示は省略しているが、吸気ポート 8 には吸気通路が接続され、排気ポート 9 には排気通路が接続されている。排気通路には、三元触媒を通過した排気ガスの一部を吸気通路に環流する EGR 通路が、接続されている。この EGR 通路には、EGR クーラと、EGR 通路を流れる排気ガスの流量を制御する EGR バルブと、が設けられている。

【0032】

シリンダヘッド 3 には、混合気を形成するための燃料を主燃焼室 6 に噴射するインジェクタ 11、後述する副室を備えたプレチャンバプラグ 12、及び副室を備えない通常点火プラグ 13 が取り付けられている。インジェクタ 11 は、シリンダ軸線上に設けられ、先端が主燃焼室 6 の中央部に臨むよう設けられている。プレチャンバプラグ 12 及び通常点火プラグ 13 は、インジェクタ 11 を挟んでその両側に配置されている。

【0033】

プレチャンバプラグ 12 は、吸気ポート 8 側に設けられており、吸気ポート 8 側から斜め下方に延びて、先端が主燃焼室 6 に臨むよう配置されている。通常点火プラグ 13 は、排気ポート 9 側に設けられており、排気ポート 9 側から斜め下方に延びて、先端が主燃焼室 6 に臨むよう配置されている。なお、プレチャンバプラグ 12 を排気ポート 9 側に設け、通常点火プラグ 13 を吸気ポート 8 側に設けるようにしてもよい。

【0034】

図 2 に示すように、プレチャンバプラグ 12 は、その先端部に、副室 15 が形成され、この副室 15 内に点火プラグ 16 が設けられている。点火プラグ 16 は、通常点火プラ

10

20

30

40

50

グ 1 3 と同様に、中心電極 1 6 a 及び側方電極（アース） 1 6 b を有する。

【 0 0 3 5 】

副室 1 5 は、主燃焼室 6 内に設けられているが、主燃焼室 6 とは独立して副室 1 5 内の混合気を燃焼可能なものである。より具体的には、副室 1 5 内の混合気を点火プラグ 1 6 で点火して、副室 1 5 内に火炎伝搬を生じさせる副燃焼室として機能するものである。

【 0 0 3 6 】

図 2（a）及び図 2（b）に示すように、副室 1 5 は、所定の径及び厚みを有する半球状の副室形成部 1 7 により形成されている。この副室形成部 1 7 には、主燃焼室 6 に開口（連通）する複数の噴孔 1 8 が形成されている。

【 0 0 3 7 】

これらの噴孔 1 8 は、主燃焼室 6 内の混合気を副室 1 5 内に流入させるために設けられ、その流入した混合気への点火によって副室 1 5 内で発生した火炎を主燃焼室 6 に噴出／放射させ、それにより、主燃焼室 6 内の混合気の燃焼を早めるために設けられている。

【 0 0 3 8 】

混合気は、基本的に、EGR バルブが閉じられている場合は、吸気ポート 8 からの新気とインジェクタ 1 1 から噴射される燃料との混合気であり、EGR バルブが開かれている場合は、吸気ポート 8 からの新気と EGR 通路からの排気ガスとインジェクタ 1 1 から噴射される燃料との混合気である。なお、燃料は、液体燃料としてのガソリンである。

【 0 0 3 9 】

本実施形態においては、これらの噴孔 1 8 は、図 2（b）に示す下方から見た平面視において、副室形成部 1 7 の頂点 A を通る軸線まわりに 90° 間隔に 4 つ設けられている。噴孔 1 8 は、いずれも、図 2（a）に示すように、半球状副室形成部 1 7 の頂点 A から 45° の位置に、45° の方向に延びるよう形成されている。これにより、噴孔 1 8 からは、頂点 A を通る軸線に対して 45° の角度で火炎が噴出するようになっている。

【 0 0 4 0 】

なお、噴孔 1 8 の数及び位置は、これらの数値に限らず、たとえば、下方から見た平面視において、頂点 A を通る軸線まわりに等間隔で 5 つ又は 6 つの噴孔 1 8 を設けるようにしてもよく、さらには、噴孔数は 4 未満または 7 以上にしてもよい。噴孔 1 8 の数は、4 以上 6 以下であることが好ましい。また、噴孔 1 8 は、上記 45° の方向に延びるストレート孔であっても、45° の方向に対して側方に傾斜して延びるスワール孔であってもよい。噴孔 1 8 の直径は、0.7 mm 以上 1.5 mm 以下であることが好ましい。

【 0 0 4 1 】

< エンジン及び副室の仕様 >

本実施形態において、シリンダボア（内径 B）とピストンストローク（行程 S）の比率であるボアストローク比（S/B）は、1 以上 1.5 以下であることが好ましい。行程容積は、500 cc 以上 700 cc 以下であることが好ましく、500 cc であることがより好ましい。主燃焼室 6 の圧縮比 ϵ は、1.4 以上 2.4 以下であること、さらには 1.6 以上 1.8 以下であることが好ましい。

【 0 0 4 2 】

副室 1 5 の容積 V は、0.12 cm³ 以上 0.328 cm³ 以下であること、さらには 0.2 cm³ 以上 0.328 cm³ 以下であることが好ましい。副室 1 5 の容積 V に対する複数の噴孔 1 8 の総断面積 S_t（各噴孔 1 8 の断面積の総和）の割合である絞り比 $\beta = S_t / V$ は 0.0078 mm⁻¹ 以上 0.0145 mm⁻¹ 以下であること、さらには 0.0078 mm⁻¹ 以上 0.011 mm⁻¹ 以下であることが好ましい。

【 0 0 4 3 】

< エンジンの製造 >

エンジンの製造方法について説明する。

【 0 0 4 4 】

図 3 に示すように、第 1 工程 S1 において、圧縮比 ϵ を 1.4 以上 2.4 以下の範囲から設定する。どういう熱効率を狙うか、着火時期をどうするか等の観点から、圧縮比 ϵ を例え

10

20

30

40

50

ば 15 とか 17 とかに決める。

【0045】

第2工程S2において、主燃焼室と副室との圧力差が圧縮比 ϵ 及び絞り比 β に依存することを利用して、第1工程S1で決定した圧縮比 ϵ に基いて絞り比 β の上限 $\beta_{\max}$ と下限 $\beta_{\min}$ とを定める。この上限 $\beta_{\max}$ 及び下限 $\beta_{\min}$ の範囲から絞り比 β を設定する。

【0046】

第3工程S3において、噴流ポテンシャルが圧縮比 ϵ 、絞り比 β 及び副室容積 V に依存することを利用して、第1工程S1で設定した圧縮比 ϵ 及び第2工程S2で設定した絞り比 β に基いて、副室容積 V を設定する。

【0047】

第4工程S4において、その他のエンジン構成要素（エンジンの行程容積、すきま容積、ピストンストローク S 、ボア径 B 、主燃焼室と副室とを連通する噴孔の数及び配置等）の仕様を設定する。副室容積 V 及び絞り比 β が決まっているから、噴孔を円形とするときは、噴孔数が決まれば、各噴孔の径が決まる。

【0048】

第5工程S5において、第2工程S2ないし第4工程S4で設定した仕様に基いて、エンジンを構成する各部品の設計、製作、組み立てを行なう。

【0049】

なお、圧縮比 ϵ 、絞り比 β 及び副室容積 V が関与しないエンジン構成要素の仕様については、第1工程S1から第3工程S3と並行して又は事前に設定しておくことができる。

【0050】

（第2工程S2（ $\beta_{\max}$ 及び $\beta_{\min}$ の決定）について）

上限絞り比 $\beta_{\max}$ 及び下限絞り比 $\beta_{\min}$ は、主燃焼室6と副室15との圧力差 ΔP が圧縮比 ϵ 及び絞り比 β に依存することを前提にして決定する。以下、具体的に説明する。

【0051】

上限絞り比 $\beta_{\max}$ は、エンジンの中負荷中回転EGR運転の条件において副室15の圧力が最大になるときの、主燃焼室6と副室15との圧力差 $\Delta P_{\max}$ が所定値以上となるように、圧縮比 ϵ に基いて求める。プレチャンバ・イグニッションでは、主燃焼室6及び副室15各々の圧力は、基本的には図4に示すように変化する。

【0052】

この圧力変化について説明すると、圧縮行程においては、副室15の噴孔18が通気抵抗になるため、副室15は、主燃焼室6よりも圧力の立上りが緩やかになる。すなわち、副室15の圧力は、主燃焼室6の圧力よりも低い。そして、副室15の混合気が圧縮行程上死点前の点火によって着火して、副室15の圧力が急上昇していき、圧縮行程上死点後には副室15の圧力が主燃焼室6の圧力よりも高くなる。この副室15の圧力が最大になるときにおける主燃焼室6と副室15との圧力差が、 $\Delta P_{\max}$ である。

【0053】

上述の如く噴孔18が通気抵抗になることにより、着火前は圧縮比 ϵ が大きくなるほど主燃焼室6と副室15との圧力差が大きくなる（主燃焼室6の圧力が高くなる）から、着火後の $\Delta P_{\max}$ は圧縮比 ϵ が大きくなるほど小さくなる。一方、絞り比 β をみると、中負荷中回転運転では、絞り比 β が大きくなると、副室15における着火後の圧力上昇中に圧力が噴孔18を介して抜け易くなるから、絞り比 β が大きくなるほど $\Delta P_{\max}$ は小さくなる。

【0054】

すなわち、 $\Delta P_{\max}$ は、圧縮比 ϵ 及び絞り比 β に依存する。よって、圧縮比 ϵ の関数 $F_1(\epsilon)$ と絞り比 β の関数 $F_1(\beta)$ とを用いて $\Delta P_{\max}$ を次のように表すことができる。

【0055】

$$\Delta P_{\max} = F_1(\epsilon) \times F_1(\beta) \quad \dots\dots (1)$$

$$F_1(\epsilon) = -0.0062 \times \epsilon + 0.1949 \quad \dots\dots (2)$$

$$F_1(\beta) = 9.51 \times 10^{-5} \times \beta - 1.754 \quad \dots\dots (3)$$

10

20

30

40

50

【0056】

ここに、 $F1(\varepsilon)$ 及び $F1(\beta)$ は、0次元シミュレーションツールを用いたパラメトリックスタディによって導出している。そのツールは、エンジンの主燃焼室に副室を模擬した小部屋を用意し、副室と主燃焼室とのエネルギー交換、主燃焼室及び副室各々からの放熱等を考慮して主燃焼室及び副室各々の圧力、温度、密度を計算するツールである。

【0057】

計算では、ボア径 B 、ストローク S 、圧縮比 ε 、副室容積 V 、絞り比 β 、エンジン回転数、燃料噴射量、空気過剰率、EGR率、吸気バルブ閉時期、排気バルブ開時期、吸気バルブ閉時期の温度・圧力、主燃焼室及び副室各々の壁温度及び熱発生率を条件として設定する。燃料噴射量、EGR率、熱発生率等については、単気筒実機エンジンの結果を模擬してインプットしている。

10

【0058】

図4及び図5は、所定の中負荷EGR運転条件で計算した結果の一例を示す。図4は先に説明したように主燃焼室及び副室各々の圧力変化を示し、 ΔP_{max} 及び ΔP_{ig} が評価指標となる。 ΔP_{ig} は、エンジン圧縮行程上死点前における副室の混合気への点火時、具体的には本実施形態では圧縮行程上死点前 10° における主燃焼室と副室との圧力差である。図5は副室から主燃焼室へのエネルギー伝達率の変化を示し、そのエネルギー伝達率の最大値 RET_{max} が評価指標となる。以下では、 RET_{max} を噴流ポテンシャルという場合がある。

【0059】

上記計算を数百条件にわたって行ない、 ΔP_{max} に対する圧縮比 ε 及び絞り比 β の影響の度合いを計算結果から回帰分析して、上記 $F1(\varepsilon)$ 及び $F1(\beta)$ の数式を導いている。

20

【0060】

図6は、シミュレーションツールによる ΔP_{max} の計算結果と、上記(1)～(3)式による $F1(\varepsilon) \times F1(\beta)$ の計算結果との相関を示す。導出された(2)式及び(3)式が妥当であることがわかる。

【0061】

中負荷EGR運転では、 ΔP_{max} が 0.02 MPa 以上になるとエンジンの熱効率が基準よりも高くなることを実験によって確認している。従って、第1工程S1で設定した圧縮比 ε を(2)式に代入して $F1(\varepsilon)$ を求め、その $F1(\varepsilon)$ の値を(1)式に代入し、 ΔP_{max} を所定値である 0.02 MPa とすると、 $F1(\beta)$ が得られ、(3)式から上限絞り比 β_{max} が得られる。因みに、圧縮比 $\varepsilon = 17$ としたときの上限絞り比 β_{max} は 0.011 となる。

30

【0062】

次に下限絞り比 β_{min} について説明する。下限絞り比 β_{min} は、エンジンの高負荷高回転運転条件において主燃焼室と副室との圧力差 ΔP_{ig} が所定値以下となるように、第1工程S1で設定した圧縮比 ε に基いて求める。

【0063】

上述の如く噴孔 18 が通気抵抗になることにより、圧縮比 ε が大きくなるほど主燃焼室と副室との圧力差 ΔP_{ig} が大きくなり、また、絞り比 β が大きくなるほど当該 ΔP_{ig} は小さくなる。すなわち、 ΔP_{ig} は、圧縮比 ε 及び絞り比 β に依存する。よって、圧縮比 ε の関数 $F2(\varepsilon)$ と絞り比 β の関数 $F2(\beta)$ とを用いて ΔP_{ig} を次のように表すことができる。

40

【0064】

$$\Delta P_{ig} = F2(\varepsilon) \times F2(\beta) \quad \dots\dots (4)$$

$$F2(\varepsilon) = 0.1727 \times \exp(0.1309 \times \varepsilon) \quad \dots\dots (5)$$

$$F2(\beta) = -1.0408 \times 10^{-5} \times \beta^{-2.0994} \quad \dots\dots (6)$$

【0065】

$F2(\varepsilon)$ 及び $F2(\beta)$ は、先の $F1(\varepsilon)$ 及び $F1(\beta)$ と同じく、上述の0次元シミュレーションツールを用いたパラメトリックスタディによって導出している。すなわち、 ΔP_{ig} に対する圧縮比 ε 及び絞り比 β の影響の度合いを計算結果から回帰分析して上記 $F2(\varepsilon)$

50

及び $F_2(\beta)$ の数式を導いている。

【0066】

図7は、シミュレーションツールによる ΔP_{ig} の計算結果と、上記(4)～(6)式による $F_2(\varepsilon) \times F_2(\beta)$ の計算結果との相関を示す。導出された(5)式及び(6)式が妥当であることがわかる。なお、図7では ΔP_{ig} を副室圧力から主燃焼室圧力を減算した値としているので、マイナス値となっている。

【0067】

高負荷高回転運転では、主燃焼室から副室へのガス移動が重要(理想は $\Delta P_{ig} = 0$)であるところ、絞り比 β を変えたいいくつかの条件で行なった実験により、 ΔP_{ig} が -0.3 MPa 以上(圧力差が小さい)であれば、副室のガス交換の確実性が高くなり遜色ない熱効率を得られるという結果を得ている。従って、第1工程S1で設定した圧縮比 ε を(5)式に代入して $F_2(\varepsilon)$ を求め、その $F_2(\varepsilon)$ の値を(4)式に代入し、 ΔP_{ig} を所定値である -0.3 MPa とすると、 $F_2(\beta)$ が得られ、(6)式から下限絞り比 β_{min} が得られる。因みに、圧縮比 $\varepsilon = 17$ としたときの下限絞り比 β_{min} は、 0.007 となる。

【0068】

(第3工程S3(副室容積Vの決定)について)

副室容積Vは、上述の如く、噴流ポテンシャルが圧縮比 ε 、絞り比 β 及び副室容積Vに依存することを利用して、第1工程S1で設定した圧縮比 ε と第2工程S2で設定した絞り比 β に基いて設定する。

【0069】

エンジンの高負荷高回転運転条件において、圧縮比 ε が大きくなるほど、副室の混合気の密度が高くなるから、噴流ポテンシャル、すなわち、副室から主燃焼室へのエネルギー伝達率の最大値である RET_{max} が大きくなる。また、絞り比 β が大きくなるほど副室のガス交換が良好になるから、 RET_{max} が大きくなる。また、副室容積Vが大きくなるほど、副室での熱発生量が多くなるから、 RET_{max} が大きくなる。すなわち、 RET_{max} は、圧縮比 ε 、絞り比 β 及び副室容積Vに依存する。よって、圧縮比 ε の関数 $F_3(\varepsilon)$ と絞り比 β の関数 $F_3(\beta)$ と副室容積Vの関数 $F_3(V)$ とを用いて RET_{max} を次のように表すことができる。

【0070】

$$RET_{max} = F_3(\varepsilon) \times F_3(\beta) \times F_3(V) \quad \dots\dots (7)$$

$$F_3(\varepsilon) = 0.9698 \times \ln(\varepsilon) - 1.5623 \quad \dots\dots (8)$$

$$F_3(\beta) = 0.8494 \times \ln(\beta) + 5.1483 \quad \dots\dots (9)$$

$$F_3(V) = 0.3600 \times \exp(2.6080 \times V) \quad \dots\dots (10)$$

【0071】

$F_3(\varepsilon)$ 、 $F_3(\beta)$ 及び $F_3(V)$ は、先の $F_1(\varepsilon)$ 及び $F_1(\beta)$ と同じく、上述の0次元シミュレーションツールを用いたパラメトリックスタディによって導出している。すなわち、 RET_{max} に対する圧縮比 ε 、絞り比 β 及び副室容積Vの影響の度合いを計算結果から回帰分析して上記 $F_3(\varepsilon)$ 、 $F_3(\beta)$ 及び $F_3(V)$ の数式を導いている。

【0072】

図8は、シミュレーションツールによる RET_{max} の計算結果と、上記(7)～(10)式による $F_3(\varepsilon) \times F_3(\beta) \times F_3(V)$ の計算結果との相関を示す。導出された(8)式～(10)式が妥当であることがわかる。

【0073】

従って、エンジン性能としての RET_{max} 要求が決まると、それに必要な副室容積Vを上記(7)～(10)式から求めることができる。ここに、 RET_{max} を定数扱いとして、 $RET_{max} = a$ とおくと、副室容積Vは上記(7)～(10)式から次のように表すことができる。

【0074】

$$V = (1/2.6080) \times \ln(A) \quad \dots\dots (11)$$

$$A = a / (0.3600 \times (0.9698 \times \ln(\varepsilon) - 1.5623) \times (0.8494 \times \ln(\beta) + 5.1483)) \dots \dots$$

(12)

【0075】

すなわち、第1工程S1で設定した圧縮比 ε 、第2工程S2で設定した絞り比 β 及びRE T maxとしてのa値を式(12)に代入するとAが得られ、式(11)から副室容積Vが得られる。式(11)及び(12)によれば、圧縮比 ε が高くなるほど副室容積Vは小さくなり、絞り比 β が大きくなるほど副室容積Vは小さくなり、定数aが大きくなるほど副室容積Vは大きくなる。

【0076】

(RE T max要求について)

圧縮比 ε が高いエンジンでの高負荷高回転運転では、ノッキング(強ノック)の抑制が重要になるところ、RE T maxを変えたいいくつかの条件で行なった実験により、RE T maxを所定範囲に収めるとノッキングの発生が抑えられることを見出した。図9は、実験で得られた6000rpmWOT(全開負荷)でのRE T maxとノッキング指標(ノック強度)Kiとの関係を示す。エンジンの圧縮比 ε は、1.7である。実験では、副室容積V及び噴孔の直径を変えることにより、RE T maxが変化するようにした。

【0077】

Ki値は、シリンダの中で発生する圧力波の振動データに基づいて算出される。振動データは、ノックセンサ、筒内圧センサなどを用いて検出される。ここでのKi値は、300回の燃焼サイクルで発生したノックの強度の平均値を示している。従って、そのサンプリング期間において強ノックが発生すると、その強度及び頻度に応じてKi値が高くなる。

【0078】

図9に示すように、RE T maxが0から2の範囲での変化に対して、Ki値に変曲点が認められた。具体的には、Ki値は、RE T max=1.2J/deg付近で極小となった。RE T maxが大きくなると、強い気柱振動を伴う急峻な熱発生となって、Ki値が高くなっていると認められる。一方、RE T maxが小さくなったときは、主燃焼室での火炎伝播が遅くなるため、エンドガスの自着火を誘発し、Ki値が高くなっていると認められる。

【0079】

図10に、図9に示すグラフ上の点P1及び点P2における振動データD1及びD2の一例を示す。実線のグラフが、RE T maxが0(ゼロ)J/degである点P1の振動データD1である。破線のグラフが、RE T maxが1.2J/degである点P2の振動データD2である。縦軸は熱発生率を、横軸はクランク角度を、それぞれ表している。

【0080】

振動データD1は、副室がない通常点火プラグで混合気に点火するエンジンでの試験結果である。振動データD2は、直径1.0mmの噴孔を4つ有し副室容積Vが0.31ccであるプレチャンバで混合気に点火するエンジンでの試験結果である。点火時期は上死点の直前(-10°ATDC)である。

【0081】

振動データD1では、点火後の所定の期間を経過した後に大きな圧力変動、つまり強ノックの発生が認められる。それに対し、振動データD2では、振動データD1のような大きな圧力変動は認められない。振動データD2では、強ノックが抑制されていることが判る。

【0082】

これまでに蓄積したデータに基づけば、測定誤差を含め、実用上好ましいKi値の範囲は、1以下であり、より好ましくは0.5以下である。図9に、Ki値が1以下となる範囲及び0.5以下となる範囲を示す。

【0083】

エンジンの高負荷高回転運転条件において、Ki値が1以下となる範囲は、RE T maxが0.95J/deg以上1.6J/deg以下(式(12)のa=0.95以上1.65以下)となる範囲に対応している。エンジンの高負荷高回転運転条件において、Ki値が0.5

10

20

30

40

50

以下となる範囲は、 RET_{max} が 1.05 以上 1.5 以下（式（12）の $a=1.05$ 以上 1.5 以下）となる範囲に対応している。

【0084】

上記製造方法によれば、中負荷EGR運転条件において ΔP_{max} が所定値（エンジンの熱効率が基準よりも高くなる 0.02 MPa ）以上となるように絞り比 β の上限 β_{max} を設定し、高負荷高回転運転条件において ΔP_{ig} が所定値（副室のガス交換がされやすい「 -0.3 MPa 」）以上となるように絞り比 β の下限 β_{min} を設定し、この上限 β_{max} と下限 β_{min} との範囲内から絞り比 β を設定するから、中負荷EGR運転及び高負荷高回転運転において所期の熱効率を確保することが可能となる。

【0085】

そうして、高負荷高回転運転条件での RET_{max} が所定範囲 0.95 J/deg 以上 1.6 J/deg 以下（式（12）の $a=0.95$ 以上 1.65 以下）になるように、副室容積 V を設定するから、高負荷高回転運転でのノッキング発生を抑えることができる。

【0086】

すなわち、上記製造方法によれば、エンジンの行程容積の大小を問わず、中負荷EGR運転における熱効率の向上と高負荷高回転運転におけるノッキング抑制の両立を図ることができる。

【0087】

ここに、絞り比 β については、 $\Delta P_{max}=0.02\text{ MPa}$ とし、 $\Delta P_{ig}=-0.3\text{ MPa}$ としたとき、圧縮比 $\varepsilon=14$ であるときの上限絞り比 β_{max} は 0.0133 mm^{-1} となり、下限絞り比 β_{min} は 0.0078 mm^{-1} となる。

【0088】

$\Delta P_{max}=0.02\text{ MPa}$ とし、 $\Delta P_{ig}=-0.3\text{ MPa}$ としたとき、圧縮比 $\varepsilon=24$ であるときの上限絞り比 β_{max} は 0.0083 mm^{-1} となり、下限絞り比 β_{min} は 0.0145 mm^{-1} となる。

【0089】

すなわち、圧縮比 ε が 14 以上 24 以下であるときの絞り比 β は、 0.0078 mm^{-1} 以上 0.0145 mm^{-1} 以下となる。

【0090】

中負荷EGR運転及び高負荷高回転運転において所期の熱効率を確保する観点から、圧縮比 ε が 14 以上 24 以下であるときの絞り比 β は、 0.0078 mm^{-1} 以上 0.0145 mm^{-1} 以下であること、さらには 0.0078 mm^{-1} 以上 0.011 mm^{-1} 以下であることが好ましい。

【0091】

副室容積 V については、 $RET_{max}=0.95\text{ J/deg}$ としたとき、圧縮比 $\varepsilon=24$ 、絞り比 $\beta=0.0145\text{ mm}^{-1}$ であるときに、 $V=0.0430\text{ cm}^3$ となり、圧縮比 $\varepsilon=14$ 、絞り比 $\beta=0.0145\text{ mm}^{-1}$ であるときに、 $V=0.2045\text{ cm}^3$ となり、圧縮比 $\varepsilon=24$ 、絞り比 $\beta=0.0078\text{ mm}^{-1}$ であるときに、 $V=0.2018\text{ cm}^3$ となり、圧縮比 $\varepsilon=14$ 、絞り比 $\beta=0.0078\text{ mm}^{-1}$ であるときに、 $V=0.3635\text{ cm}^3$ となる。

【0092】

$RET_{max}=1.6\text{ J/deg}$ としたときは、圧縮比 $\varepsilon=24$ 、絞り比 $\beta=0.0145\text{ mm}^{-1}$ であるときに、 $V=0.2428\text{ cm}^3$ となり、圧縮比 $\varepsilon=14$ 、絞り比 $\beta=0.0145\text{ mm}^{-1}$ であるときに、 $V=0.4045\text{ cm}^3$ となり、圧縮比 $\varepsilon=24$ 、絞り比 $\beta=0.0078\text{ mm}^{-1}$ であるときに、 $V=0.4017\text{ cm}^3$ となり、圧縮比 $\varepsilon=14$ 、絞り比 $\beta=0.0078\text{ mm}^{-1}$ であるときに、 $V=0.5631\text{ cm}^3$ となる。

【0093】

以上によれば、副室容積 V は、 0.0430 cm^3 以上 0.5631 cm^3 以下と範囲となる。高負荷高回転運転でのノッキング発生を抑える観点から、副室容積 V は、 0.12 cm^3 以上 0.328 cm^3 以下であること、さらには 0.2 cm^3 以上 0.328 cm^3

10

20

30

40

50

³以下であることが好ましい。

【0094】

<第1指標>

副室における複数の噴孔の総断面積 S_t [cm^2] と圧縮比 ε との積を、第1指標 $S_t \cdot \varepsilon$ [cm^2] とする。第1指標 $S_t \cdot \varepsilon$ は、上限絞り比 $\beta_{\max}$ 及び下限絞り比 $\beta_{\min}$ のうちの大きい方に基づいて求められる。 $\varepsilon = 24$ のとき、 $\beta = 0.0145 \text{ mm}^{-1}$ であり、 $\varepsilon = 14$ のとき、 $\beta = 0.0133 \text{ mm}^{-1}$ である。

【0095】

$RET_{\max} = 0.95 \text{ J/deg}$ としたとき、 $\varepsilon = 24$ 、 $\beta = 0.0145 \text{ mm}^{-1}$ の場合、 $V = 0.0430 \text{ cm}^3$ 、 $S_t = 0.006235 \text{ cm}^2$ 、 $S_t \cdot \varepsilon = 0.1496 \text{ cm}^2$ となる。 $RET_{\max} = 0.95 \text{ J/deg}$ としたとき、 $\varepsilon = 14$ 、 $\beta = 0.0133 \text{ mm}^{-1}$ の場合、 $V = 0.222 \text{ cm}^3$ 、 $S_t = 0.02956 \text{ cm}^2$ 、 $S_t \cdot \varepsilon = 0.4139 \text{ cm}^2$ となる。

10

【0096】

$RET_{\max} = 1.6 \text{ J/deg}$ としたとき、 $\varepsilon = 24$ 、 $\beta = 0.0145 \text{ mm}^{-1}$ の場合、 $V = 0.2428 \text{ cm}^3$ 、 $S_t = 0.0352 \text{ cm}^2$ 、 $S_t \cdot \varepsilon = 0.8449 \text{ cm}^2$ となる。 $RET_{\max} = 1.6 \text{ J/deg}$ としたとき、 $\varepsilon = 14$ 、 $\beta = 0.0133 \text{ mm}^{-1}$ の場合、 $V = 0.4225 \text{ cm}^3$ 、 $S_t = 0.05626 \text{ cm}^2$ 、 $S_t \cdot \varepsilon = 0.7877 \text{ cm}^2$ となる。

20

【0097】

$RET_{\max} = 1.05 \text{ J/deg}$ としたとき、 $\varepsilon = 24$ 、 $\beta = 0.0145 \text{ mm}^{-1}$ の場合、 $V = 0.0813 \text{ cm}^3$ 、 $S_t = 0.01179 \text{ cm}^2$ 、 $S_t \cdot \varepsilon = 0.2829 \text{ cm}^2$ となる。 $RET_{\max} = 1.05 \text{ J/deg}$ としたとき、 $\varepsilon = 14$ 、 $\beta = 0.0133 \text{ mm}^{-1}$ の場合、 $V = 0.2614 \text{ cm}^3$ 、 $S_t = 0.03481 \text{ cm}^2$ 、 $S_t \cdot \varepsilon = 0.4873 \text{ cm}^2$ となる。

【0098】

$RET_{\max} = 1.5 \text{ J/deg}$ としたとき、 $\varepsilon = 24$ 、 $\beta = 0.0145 \text{ mm}^{-1}$ の場合、 $V = 0.2181 \text{ cm}^3$ 、 $S_t = 0.03162 \text{ cm}^2$ 、 $S_t \cdot \varepsilon = 0.7590 \text{ cm}^2$ となる。 $RET_{\max} = 1.5 \text{ J/deg}$ としたとき、 $\varepsilon = 14$ 、 $\beta = 0.0133 \text{ mm}^{-1}$ の場合、 $V = 0.398 \text{ cm}^3$ 、 $S_t = 0.053 \text{ cm}^2$ 、 $S_t \cdot \varepsilon = 0.742 \text{ cm}^2$ となる。

30

【0099】

$RET_{\max} = 1.2 \text{ J/deg}$ としたとき、 $\varepsilon = 24$ 、 $\beta = 0.0145 \text{ mm}^{-1}$ の場合、 $V = 0.1325 \text{ cm}^3$ 、 $S_t = 0.01921 \text{ cm}^2$ 、 $S_t \cdot \varepsilon = 0.4611 \text{ cm}^2$ となる。 $RET_{\max} = 1.2 \text{ J/deg}$ としたとき、 $\varepsilon = 14$ 、 $\beta = 0.0133 \text{ mm}^{-1}$ の場合、 $V = 0.312 \text{ cm}^3$ 、 $S_t = 0.04155 \text{ cm}^2$ 、 $S_t \cdot \varepsilon = 0.5817 \text{ cm}^2$ となる。

【0100】

以上の通り、圧縮比 ε が14以上24以下のとき、 K_i 値を1以下にする上で、すなわち、 $RET_{\max}$ を 0.95 J/deg 以上 1.6 J/deg 以下にする上で、第1指標 $S_t \cdot \varepsilon$ は、 0.1496 cm^2 以上 0.8449 cm^2 以下であることが好ましい。

40

【0101】

また、圧縮比 ε が14以上24以下のとき、 K_i 値を0.5以下にする上で、すなわち、 $RET_{\max}$ を 1.05 J/deg 以上 1.5 J/deg 以下にする上で、第1指標 $S_t \cdot \varepsilon$ は、 0.2829 cm^2 以上 0.7590 cm^2 以下であることが好ましい。

【0102】

さらに、圧縮比 ε が14以上24以下のとき、 K_i 値を0付近（極小値付近）にする上で、すなわち、 $RET_{\max}$ を 1.2 J/deg 付近にする上で、第1指標 $S_t \cdot \varepsilon$ は、 0.4611 cm^2 以上 0.5817 cm^2 以下であることが好ましい。

【0103】

50

図 1 1 は、噴流ポテンシャル RET_{max} と噴孔の総断面積 S_t との関係を示すグラフである。図 1 2 は、噴流ポテンシャル RET_{max} と第 1 指標 $S_t \cdot \varepsilon$ との関係を示すグラフである。

【0104】

図 1 1 に示すように、噴流ポテンシャル RET_{max} が大きくなるほど、総断面積 S_t を大きくする必要がある。圧縮比 $\varepsilon = 24$ の場合、圧縮比 $\varepsilon = 14$ の場合に比較して、同じ大きさの噴流ポテンシャル RET_{max} を得るのに必要な総断面積 S_t は、小さい。すなわち、圧縮比 ε が大きくなるほど、必要な総断面積 S_t は、小さい。

【0105】

図 1 2 に示すように、噴流ポテンシャル RET_{max} が大きくなるほど、第 1 指標 $S_t \cdot \varepsilon$ は、大きくなる。 $\varepsilon = 14$ に係る第 1 指標 $S_t \cdot \varepsilon$ の曲線と $\varepsilon = 24$ に係る第 1 指標 $S_t \cdot \varepsilon$ の曲線とは、途中で互いに交わっている。詳細には、噴流ポテンシャル RET_{max} が小さいとき、 $\varepsilon = 24$ に係る第 1 指標 $S_t \cdot \varepsilon$ は、 $\varepsilon = 14$ に係る第 1 指標 $S_t \cdot \varepsilon$ よりも小さい。噴流ポテンシャル RET_{max} が大きいとき、 $\varepsilon = 24$ に係る第 1 指標 $S_t \cdot \varepsilon$ は、 $\varepsilon = 14$ に係る第 1 指標 $S_t \cdot \varepsilon$ よりも大きい。

【0106】

<第 2 指標>

副室容積 $V [cm^3]$ と圧縮比 ε との積を、第 2 指標 $V \cdot \varepsilon [cm^3]$ とする。第 2 指標 $V \cdot \varepsilon$ は、上限絞り比 β_{max} 及び下限絞り比 β_{min} のうちの大きい方に基づいて求められる。 $\varepsilon = 24$ のとき、 $\beta = 0.0145 mm^{-1}$ であり、 $\varepsilon = 14$ のとき、 $\beta = 0.0133 mm^{-1}$ である。

【0107】

$RET_{max} = 0.95 J/deg$ としたとき、 $\varepsilon = 24$ 、 $\beta = 0.0145 mm^{-1}$ の場合、 $V = 0.0430 cm^3$ 、 $V \cdot \varepsilon = 1.03 cm^3$ となる。 $RET_{max} = 0.95 J/deg$ としたとき、 $\varepsilon = 14$ 、 $\beta = 0.0133 mm^{-1}$ の場合、 $V = 0.222 cm^3$ 、 $V \cdot \varepsilon = 3.11 cm^3$ となる。

【0108】

$RET_{max} = 1.6 J/deg$ としたとき、 $\varepsilon = 24$ 、 $\beta = 0.0145 mm^{-1}$ の場合、 $V = 0.2428 cm^3$ 、 $V \cdot \varepsilon = 5.827 cm^3$ となる。 $RET_{max} = 1.6 J/deg$ としたとき、 $\varepsilon = 14$ 、 $\beta = 0.0133 mm^{-1}$ の場合、 $V = 0.4225 cm^3$ 、 $V \cdot \varepsilon = 5.92 cm^3$ となる。

【0109】

$RET_{max} = 1.05 J/deg$ としたとき、 $\varepsilon = 24$ 、 $\beta = 0.0145 mm^{-1}$ の場合、 $V = 0.0813 cm^3$ 、 $V \cdot \varepsilon = 1.95 cm^3$ となる。 $RET_{max} = 1.05 J/deg$ としたとき、 $\varepsilon = 14$ 、 $\beta = 0.0133 mm^{-1}$ の場合、 $V = 0.2614 cm^3$ 、 $V \cdot \varepsilon = 3.66 cm^3$ となる。

【0110】

$RET_{max} = 1.5 J/deg$ としたとき、 $\varepsilon = 24$ 、 $\beta = 0.0145 mm^{-1}$ の場合、 $V = 0.2181 cm^3$ 、 $V \cdot \varepsilon = 5.234 cm^3$ となる。 $RET_{max} = 1.5 J/deg$ としたとき、 $\varepsilon = 14$ 、 $\beta = 0.0133 mm^{-1}$ の場合、 $V = 0.398 cm^3$ 、 $V \cdot \varepsilon = 5.57 cm^3$ となる。

【0111】

$RET_{max} = 1.2 J/deg$ としたとき、 $\varepsilon = 24$ 、 $\beta = 0.0145 mm^{-1}$ の場合、 $V = 0.1325 cm^3$ 、 $V \cdot \varepsilon = 3.18 cm^3$ となる。 $RET_{max} = 1.2 J/deg$ としたとき、 $\varepsilon = 14$ 、 $\beta = 0.0133 mm^{-1}$ の場合、 $V = 0.312 cm^3$ 、 $V \cdot \varepsilon = 4.37 cm^3$ となる。

【0112】

以上の通り、圧縮比 ε が 14 以上 24 以下のとき、 K_i 値を 1 以下にする上で、すなわち、 RET_{max} を $0.95 J/deg$ 以上 $1.6 J/deg$ 以下にする上で、第 2 指標 $V \cdot \varepsilon$ は、 $1.03 cm^3$ 以上 $5.92 cm^3$ 以下であることが好ましい。

10

20

30

40

50

【0113】

また、圧縮比 ϵ が1.4以上2.4以下のとき、 K_i 値を0.5以下にする上で、すなわち、 RET_{max} を1.05 J/deg以上1.5 J/deg以下にする上で、第2指標 $V \cdot \epsilon$ は、1.95 cm³以上5.57 cm³以下であることが好ましい。

【0114】

さらに、圧縮比 ϵ が1.4以上2.4以下のとき、 K_i 値を0付近（極小値付近）にする上で、すなわち、 RET_{max} を1.2 J/deg付近にする上で、第2指標 $V \cdot \epsilon$ は、3.18 cm³以上4.37 cm³以下であることが好ましい。

【0115】

図13は、噴流ポテンシャル RET_{max} と副室容積 V との関係を示すグラフである。図14は、噴流ポテンシャル RET_{max} と第2指標 $V \cdot \epsilon$ との関係を示すグラフである。

【0116】

図13に示すように、噴流ポテンシャル RET_{max} が大きくなるほど、副室容積 V を大きくする必要がある。圧縮比 $\epsilon = 2.4$ の場合、圧縮比 $\epsilon = 1.4$ の場合に比較して、同じ大きさの噴流ポテンシャル RET_{max} を得るのに必要な副室容積 V は、小さい。すなわち、圧縮比 ϵ が大きくなるほど、必要な副室容積 V は、小さい。

【0117】

図14に示すように、噴流ポテンシャル RET_{max} が大きくなるほど、第2指標 $V \cdot \epsilon$ は、大きくなる。 $\epsilon = 1.4$ に係る第2指標 $V \cdot \epsilon$ の曲線と $\epsilon = 2.4$ に係る第2指標 $V \cdot \epsilon$ の曲線とは、途中で互いに交わっている。詳細には、噴流ポテンシャル RET_{max} が小さいとき、 $\epsilon = 2.4$ に係る第2指標 $V \cdot \epsilon$ は、 $\epsilon = 1.4$ に係る第2指標 $V \cdot \epsilon$ よりも小さい。噴流ポテンシャル RET_{max} が大きいとき、 $\epsilon = 2.4$ に係る第2指標 $V \cdot \epsilon$ は、 $\epsilon = 1.4$ に係る第2指標 $V \cdot \epsilon$ よりも大きい。

【0118】

<作用効果>

本願発明者は、プレチャンバ・イグニッションについて種々検討した結果、この点火燃焼方式においても、中負荷EGR運転での熱効率改善要求と高負荷高回転運転でのノッキング抑制要求とを両立できることを見出した。また、本願発明者は、高負荷高回転運転時におけるノッキング指標（ノック強度、 K_i 値）が噴流ポテンシャル RET_{max} の関数であって、当該関数には極小値（変曲点）が存在することを発見した（図9参照）。これは、噴流ポテンシャル RET_{max} を当該極小値付近の範囲内に収めることによって、高負荷高回転運転時でのノッキングの発生を抑制できることを、意味する。

【0119】

圧縮比 ϵ は、どのような熱効率を狙うか又は着火時期をどうするか要求から決めることができる。その一方で、圧縮比 ϵ が小さいときは、主燃焼室から副室への空気ないし混合気の充填度が低くなる。そこで、中負荷EGR運転時において点火によって確実に着火する混合気を、副室に得る観点から、圧縮比 ϵ を1.4以上としている。但し、圧縮比 ϵ が大きくなると高負荷高回転時にノッキングを生じ易くなるため、その上限を2.4としている。

【0120】

第2指標 $V \cdot \epsilon$ については、高負荷高回転運転時でのノッキング抑制、及び中負荷EGR運転での熱効率向上の観点から、1.03 cm³以上5.92 cm³以下としている。

【0121】

ここで、図13に示すように、噴流ポテンシャル RET_{max} を大きくするためには、副室での熱発生量を多くする観点から、副室の容積 V を大きくする必要がある。反対に、噴流ポテンシャル RET_{max} を小さくするためには、容積 V を小さくする必要がある。このため、図14に示すように、第2指標 $V \cdot \epsilon$ は、噴流ポテンシャル RET_{max} が大きいほど大きい一方、噴流ポテンシャル RET_{max} が小さいほど小さい。

【0122】

噴流ポテンシャル RET_{max} は、圧縮比 ϵ が大きいほど、主燃焼室から副室への混合気

の充填度が高まるので、大きくなりやすい。図 13 に示すように、同じ大きさの噴流ポテンシャル $R E T_{max}$ を得るために、圧縮比 ϵ が大きい ($\epsilon = 2.4$) ときには容積 V を小さくする必要がある一方、圧縮比 ϵ が小さい ($\epsilon = 1.4$) ときには容積 V を大きくする必要がある。このため、圧縮比 ϵ を容積 V に掛け合わせることで得られる第 2 指標 $V \cdot \epsilon$ において、圧縮比 ϵ の変化量 (増大量/減少量) は、容積 V の変化量 (減少量/増大量) によって均される。

【0123】

これにより、図 14 に示すように、第 2 指標 $V \cdot \epsilon$ は、圧縮比 ϵ が増減しても、圧縮比 ϵ の増減を打ち消すように容積 V が増減するので、圧縮比 ϵ の影響が緩和される。第 2 指標 $V \cdot \epsilon$ は、主に、噴流ポテンシャル $R E T_{max}$ に依存する。

10

【0124】

したがって、容積 V 及び圧縮比 ϵ に基づいて、第 2 指標 $V \cdot \epsilon$ を求めることによって、圧縮比 ϵ の大小にかかわらず、噴流ポテンシャル $R E T_{max}$ を一義的に定めることができる。

【0125】

第 2 指標 $V \cdot \epsilon$ を 1.03 cm^3 以上 5.92 cm^3 以下にすることによって、噴流ポテンシャル $R E T_{max}$ を、高負荷高回転運転時でのノッキング指標の関数における上記極小値付近の範囲内 (具体的には、噴流ポテンシャル $R E T_{max}$ が 0.95 J/deg 以上 1.6 J/deg 以下の範囲内) に、収める上で有利になる (図 9 参照)。これにより、 K_i 値を 1 以下にする上で有利になる。したがって、高負荷高回転運転時において、噴流ポテンシャル $R E T_{max}$ が過度に大きくなって、ノッキングが発生することを抑制することができる。

20

【0126】

さらに、第 2 指標 $V \cdot \epsilon$ が 1.03 cm^3 以上であるから、中負荷 $E G R$ 運転において噴流ポテンシャル $R E T_{max}$ が過度に小さくなることを避けられる。すなわち、中負荷 $E G R$ 運転において、所期の噴流ポテンシャル $R E T_{max}$ を得て熱効率を高める上で有利になる。

【0127】

以上、エンジンの中負荷 $E G R$ 運転での熱効率改善要求と高負荷高回転運転でのノッキング抑制要求とを、両立することができる。

30

【0128】

第 2 指標 $V \cdot \epsilon$ を 1.95 cm^3 以上 5.57 cm^3 以下にすることによって、高負荷高回転運転時においてノッキングを抑制する上で、さらに有利になる。具体的には、噴流ポテンシャル $R E T_{max}$ を 1.05 J/deg 以上 1.5 J/deg 以下の範囲内に、収める上で有利になる (図 9 参照)。これにより、 K_i 値を 0.5 以下にする上で有利になる。

【0129】

第 2 指標 $V \cdot \epsilon$ を 3.18 cm^3 以上 4.37 cm^3 以下にすることによって、高負荷高回転運転時においてノッキングを抑制する上で、より一層、有利になる。具体的には、噴流ポテンシャル $R E T_{max}$ を 1.2 J/deg 付近の範囲内に、収める上で有利になる (図 9 参照)。これにより、 K_i 値を 0 付近 (極小値付近) にする上で有利になる。

40

【0130】

噴流ポテンシャル $R E T_{max}$ が所定範囲内 (例えば、 0.95 J/deg 以上 1.6 J/deg 以下の範囲内) に収まるように、副室を設計することによって、高負荷高回転運転時におけるノッキング抑制の確度を、より高めることができる。

【0131】

副室の容積 V は、それ自体が、噴流ポテンシャル $R E T_{max}$ の大小に影響する。容積 V が 0.12 cm^3 以上であるから、中負荷 $E G R$ 運転時においても比較的大きな噴流ポテンシャル $R E T_{max}$ が得られる。一方、容積 V の上限を 0.328 cm^3 としているから、高負荷高回転時において噴流ポテンシャル $R E T_{max}$ が過大になることが避けられる。

【0132】

50

噴孔 1 8 の数を 4 以上 6 以下にすることによって、噴流ポテンシャル $R E T_{max}$ を、好適な範囲に収めやすくなる。

【0 1 3 3】

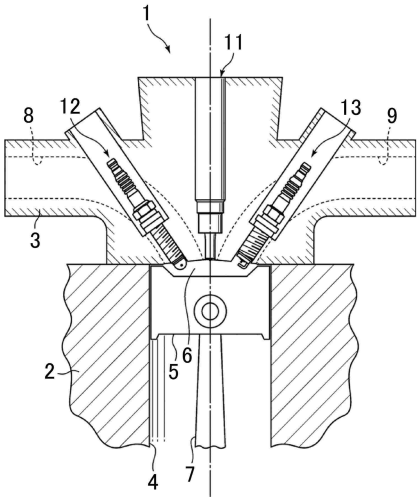
パッシブ式のプレチャンバ・イグニッション（プレチャンバープラグ 1 2）として、副室 1 5 内にインジェクタ 1 1 を持たなくても、混合気を、噴孔 1 8 から副室 1 5 内における点火プラグ 1 6 まわりに導くことができる。

【符号の説明】

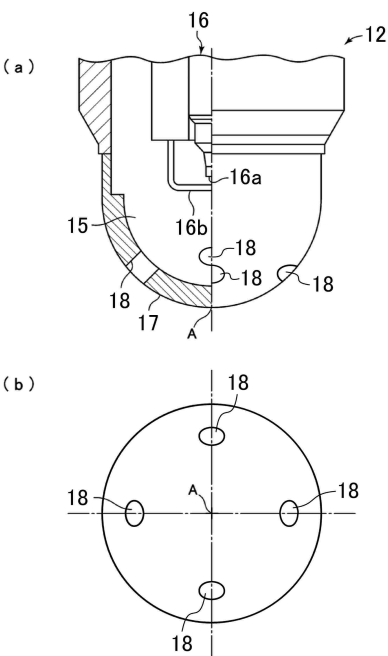
【0 1 3 4】

ε	圧縮比	
β	絞り比	10
V	副室容積	
S_t	総断面積	
ΔP_{max}	圧力差	
ΔP_{ig}	圧力差	
$R E T_{max}$	噴流ポテンシャル	
K_i	ノック指標	
$S_t \cdot \varepsilon$	第 1 指標	
$V \cdot \varepsilon$	第 2 指標	
1	エンジン	
2	シリンダブロック	20
3	シリンダヘッド	
4	気筒（シリンダ）	
5	ピストン	
6	主燃焼室	
1 1	インジェクタ	
1 2	プレチャンバープラグ	
1 3	通常点火プラグ	
1 5	副室	
1 6	点火プラグ	
1 7	副室形成部	30
1 8	噴孔	

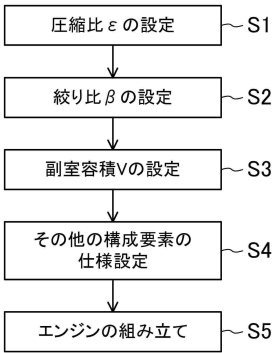
【図面】
【図 1】



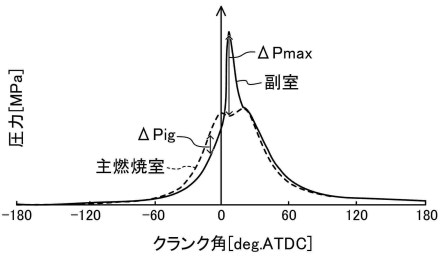
【図 2】



【図 3】



【図 4】



10

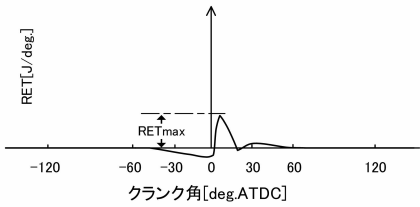
20

30

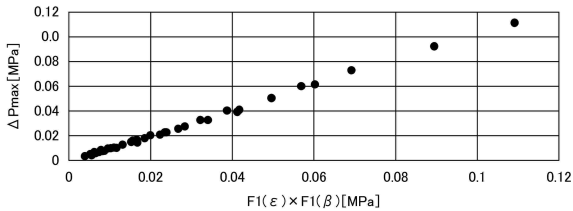
40

50

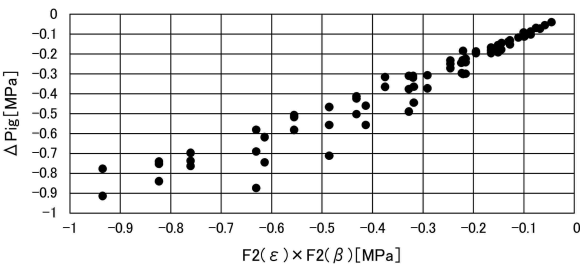
【図 5】



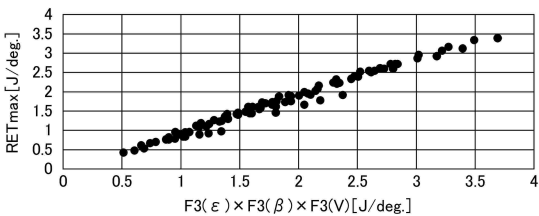
【図 6】



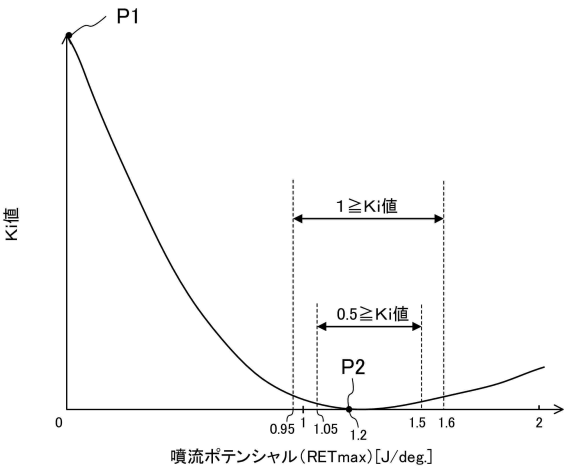
【図 7】



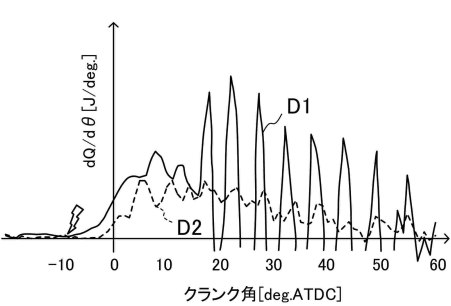
【図 8】



【図 9】



【図 10】



10

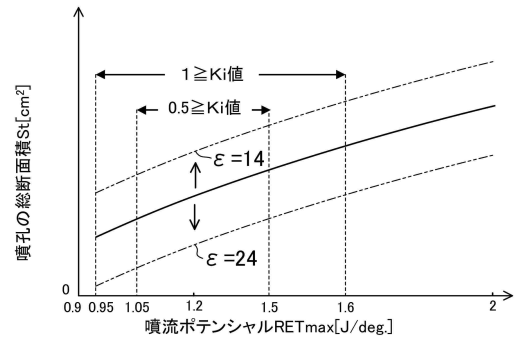
20

30

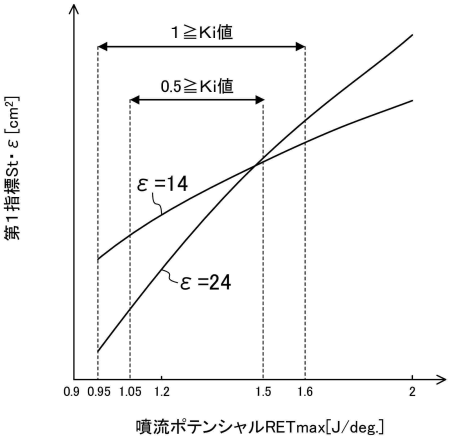
40

50

【図 1 1】

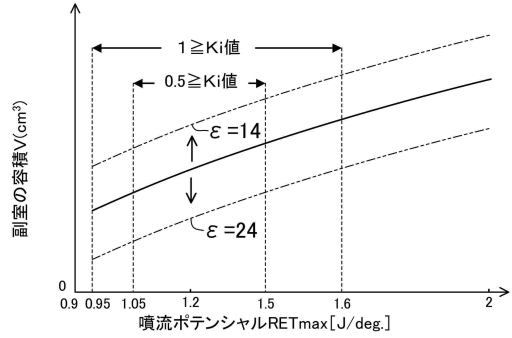


【図 1 2】

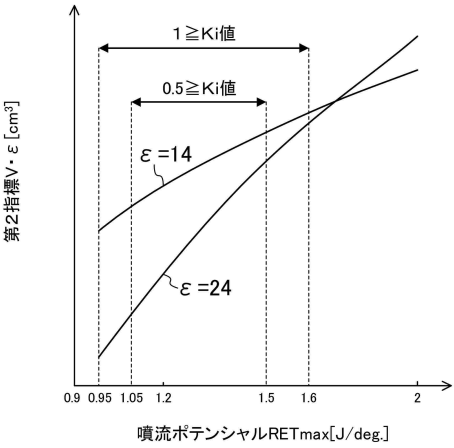


10

【図 1 3】



【図 1 4】



20

30

40

50

フロントページの続き

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 長津 和弘
広島県安芸郡府中町新地3番1号 マツダ株式会社内
審査官 平井 功
(56)参考文献 独国特許出願公開第60310979 (DE, A1)
特開2003-278548 (JP, A)
特開2018-66369 (JP, A)
(58)調査した分野 (Int.Cl., DB名)
F02B 1/00-23/10