

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第6176005号
(P6176005)

(45) 発行日 平成29年8月9日(2017.8.9)

(24) 登録日 平成29年7月21日(2017.7.21)

(51) Int.Cl.

F I

FO2B 23/10 (2006.01)
FO2D 13/02 (2006.01)
FO2F 1/24 (2006.01)

FO2B 23/10 310B
FO2B 23/10 310E
FO2B 23/10 M
FO2D 13/02 H
FO2F 1/24 F

請求項の数 6 (全 30 頁) 最終頁に続く

(21) 出願番号 特願2013-185309 (P2013-185309)
(22) 出願日 平成25年9月6日(2013.9.6)
(65) 公開番号 特開2015-52290 (P2015-52290A)
(43) 公開日 平成27年3月19日(2015.3.19)
審査請求日 平成28年1月12日(2016.1.12)

(73) 特許権者 000003207
トヨタ自動車株式会社
愛知県豊田市トヨタ町1番地
(74) 代理人 100106150
弁理士 高橋 英樹
(74) 代理人 100082175
弁理士 高田 守
(74) 代理人 100113011
弁理士 大西 秀和
(72) 発明者 森 幸生
愛知県豊田市トヨタ町1番地 トヨタ自動車株式会社内
(72) 発明者 木村 幸四郎
愛知県豊田市トヨタ町1番地 トヨタ自動車株式会社内

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】

燃焼室の上壁面の中央部付近に配置され混合気に点火するための点火プラグを備え、リ
ーンバーン運転時に筒内にタンブル流が生成される内燃機関の制御装置であって、

点火時の前記点火プラグの周囲におけるガスの流れ方向が圧縮行程後半において吸気弁
側から排気弁側に向かう方向である第1タンブル形状と、筒内ガスが圧縮行程において圧
縮されていく過程で、前記燃焼室を上方から見て回転方向が互いに逆となる2つのスワ
ール流成分を有するタンブル流に変化することで、前記ガスの流れ方向が圧縮行程後半に
おいて前記吸気弁側から前記排気弁側に向かう方向から前記排気弁側から前記吸気弁側に向
かう方向に反転する第2タンブル形状との間で、エンジン回転速度に応じてタンブル流の
形状を変化させるタンブル流制御手段を備え、

前記タンブル流制御手段は、吸気行程において前記燃焼室内に流入する吸気の流量のう
ちで吸気ポートから前記燃焼室の中央部に向かう吸気の流量の割合を増加させることによ
ってタンブル流の形状を前記第2タンブル形状に変更することを特徴とする内燃機関の制
御装置。

【請求項2】

前記タンブル流制御手段は、前記第1タンブル形状と前記第2タンブル形状との間でエ
ンジン回転速度に応じてタンブル流の形状を変化させることによって、点火時の前記点火
プラグの周囲のガス流速を所定の流速範囲内に制御することを特徴とする請求項1に記載
の内燃機関の制御装置。

【請求項 3】

前記タンブル流制御手段は、第 1 エンジン回転速度領域ではタンブル流の形状を前記第 1 タンブル形状に変更し、前記第 1 エンジン回転速度領域よりも高い第 2 エンジン回転速度領域ではタンブル流の形状を前記第 2 タンブル形状に変更することを特徴とする請求項 1 または 2 に記載の内燃機関の制御装置。

【請求項 4】

前記タンブル流制御手段は、圧縮行程後半での吸排気方向におけるシリンダボア中心断面付近におけるタンブル流の渦中心の前記燃焼室の容積中心に対する偏りを大きくすることによってタンブル流の形状を前記第 2 タンブル形状に変更することを特徴とする請求項 1 ~ 3 の何れか 1 つに記載の内燃機関の制御装置。

10

【請求項 5】

前記吸気弁のリフト量を可変とする吸気可変動弁装置を更に備え、

前記タンブル流制御手段は、前記燃焼室の中央側の部位を除いて前記吸気ポートの出口を取り囲むように前記燃焼室の壁面に形成された凸部を含み、

前記タンブル流制御手段は、エンジン回転速度が高い場合にはエンジン回転速度が低い場合と比べて前記吸気弁のリフト量が小さくなるように前記吸気可変動弁装置を制御することを特徴とする請求項 1 ~ 4 の何れか 1 つに記載の内燃機関の制御装置。

【請求項 6】

前記吸気弁のリフト量を可変とする吸気可変動弁装置を更に備え、

前記タンブル流制御手段は、前記燃焼室の中央側の部位において前記吸気ポートの出口を取り囲むように前記燃焼室の壁面に形成された凸部を含み、

前記タンブル流制御手段は、エンジン回転速度が高い場合にはエンジン回転速度が低い場合と比べて前記吸気弁のリフト量が大きくなるように前記吸気可変動弁装置を制御することを特徴とする請求項 1 ~ 4 の何れか 1 つに記載の内燃機関の制御装置。

20

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

この発明は、内燃機関の制御装置に係り、特に、火花点火式の内燃機関の制御装置に関する。

【背景技術】

30

【0002】

従来、例えば特許文献 1 には、筒内にタンブル流を生じさせるタンブル流コントロールバルブを備える内燃機関の制御装置が開示されている。この従来の制御装置では、スロットルバルブよりも上流側に設けられた第 1 エアフローメータの検出値と、タンブルコントロールバルブの直下に設けられた第 2 エアフローメータの検出値とに基づいて、推定タンブル比が算出される。そして、算出された推定タンブル比が目標タンブル比に追従するようにタンブルコントロールバルブの開度のフィードバック制御が行われる。目標タンブル比は、失火や燃焼不安定を回避するための許容制御範囲内に設定される。

【先行技術文献】

【特許文献】

40

【0003】

【特許文献 1】特開 2012 - 021501 号公報

【特許文献 2】特開 2005 - 171815 号公報

【特許文献 3】特開 2008 - 303798 号公報

【特許文献 4】特開 2012 - 246896 号公報

【特許文献 5】特開 2009 - 041397 号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0004】

タンブル比（タンブル流の流速 / エンジン回転速度）を一定範囲内に制御したとしても

50

、エンジン回転速度が変化すると、タンブル流の流速が変化することになる。理論空燃比よりも高い空燃比での運転時もしくはEGRガスを多く含んだ空気を燃焼させるEGR運転時のように、混合気の燃料濃度が低い条件で行われるリーンバーン運転では、点火時における点火プラグの周囲のガス流速が高過ぎても低過ぎても安定した着火が得にくくなる。

【0005】

この発明は、上述のような課題を解決するためになされたもので、混合気の燃料濃度が低い条件で行われるリーンバーン運転における混合気の着火性向上に資する内燃機関の制御装置を提供することを目的とする。

【課題を解決するための手段】

【0006】

第1の発明は、燃焼室の上壁面の中央部付近に配置され混合気に点火するための点火プラグを備え、リーンバーン運転時に筒内にタンブル流が生成される内燃機関の制御装置であって、

点火時の前記点火プラグの周囲におけるガスの流れ方向が圧縮行程後半において吸気弁側から排気弁側に向かう方向である第1タンブル形状と、筒内ガスが圧縮行程において圧縮されていく過程で、前記燃焼室を上方から見て回転方向が互いに逆となる2つのスワール流成分を有するタンブル流に変化することで、前記ガスの流れ方向が圧縮行程後半において前記吸気弁側から前記排気弁側に向かう方向から前記排気弁側から前記吸気弁側に向かう方向に反転する第2タンブル形状との間で、エンジン回転速度に応じてタンブル流の形状を変化させるタンブル流制御手段を備え、前記タンブル流制御手段は、吸気行程において前記燃焼室内に流入する吸気の流量のうちで吸気ポートから前記燃焼室の中央部に向かう吸気の流量の割合を増加させることによってタンブル流の形状を前記第2タンブル形状に変更することを特徴とする。

【0007】

また、第2の発明は、第1の発明において、

前記タンブル流制御手段は、前記第1タンブル形状と前記第2タンブル形状との間でエンジン回転速度に応じてタンブル流の形状を変化させることによって、点火時の前記点火プラグの周囲のガス流速を所定の流速範囲内に制御することを特徴とする。

【0008】

また、第3の発明は、第1または第2の発明において、

前記タンブル流制御手段は、第1エンジン回転速度領域ではタンブル流の形状を前記第1タンブル形状に変更し、前記第1エンジン回転速度領域よりも高い第2エンジン回転速度領域ではタンブル流の形状を前記第2タンブル形状に変更することを特徴とする。

【0009】

また、第4の発明は、第1～第3の発明の何れか1つにおいて、

前記タンブル流制御手段は、圧縮行程後半での吸排気方向におけるシリンダボア中心断面付近におけるタンブル流の渦中心の前記燃焼室の容積中心に対する偏りを大きくすることによってタンブル流の形状を前記第2タンブル形状に変更することを特徴とする。

【0011】

また、第5の発明は、第1～第4の発明の何れかにおいて、

前記吸気弁のリフト量を可変とする吸気可変動弁装置を更に備え、

前記タンブル流制御手段は、前記燃焼室の中央側の部位を除いて前記吸気ポートの出口を取り囲むように前記燃焼室の壁面に形成された凸部を含み、

前記タンブル流制御手段は、エンジン回転速度が高い場合にはエンジン回転速度が低い場合と比べて前記吸気弁のリフト量が小さくなるように前記吸気可変動弁装置を制御することを特徴とする。

【0012】

また、第6の発明は、第1～第4の発明の何れかにおいて、

前記吸気弁のリフト量を可変とする吸気可変動弁装置を更に備え、

前記タンブル流制御手段は、前記燃焼室の中央側の部位において前記吸気ポートの出口を取り囲むように前記燃焼室の壁面に形成された凸部を含み、

前記タンブル流制御手段は、エンジン回転速度が高い場合にはエンジン回転速度が低い場合と比べて前記吸気弁のリフト量が大きくなるように前記吸気可変動弁装置を制御することを特徴とする。

【発明の効果】

【0014】

第2タンブル形状のタンブル流が生成される場合には、第1タンブル形状のタンブル流が生成される場合よりも早いタイミングから、圧縮行程において点火プラグの周囲でのガス流速が低下し始め、やがては、ガス流れの方向が反転する。第1の発明によれば、圧縮行程後半において点火プラグの周囲でのガス流れ方向の反転のない第1タンブル形状と当該ガス流れ方向の反転のある第2タンブル形状との間でエンジン回転速度に応じてタンブル流の形状を変化させることにより、点火時の点火プラグの周囲のガス流速を制御できるようになる。これにより、混合気の燃料濃度が低い条件で行われるリーンバーン運転における混合気の着火性向上に資する内燃機関の制御装置を提供することが可能となる。また、本発明によれば、吸気行程において燃焼室内に流入する吸気の流量のうちで吸気ポートから燃焼室の中央部に向かう吸気の流量の割合を増加させることによって、第2タンブル形状のタンブル流を生成することができる。

10

【0015】

第2の発明によれば、エンジン回転速度に依らずに、点火時における点火プラグの周囲のガス流速を着火に適した範囲内に制御することができる。

20

【0016】

筒内に流入するガスの流速は、エンジン回転速度に比例する。したがって、点火時の点火プラグの周囲のガス流速に対して何らの制御を行わない場合には、当該ガス流速は、エンジン回転速度に比例して単調に増加してしまう。第3の発明によれば、第1エンジン回転速度領域では第1タンブル形状を選択して第2タンブル形状の流れの生成を抑制することで、点火時の点火プラグの周囲のガス流速の低下を抑えることができ、一方、高回転側の第2エンジン回転速度領域では第2タンブル形状を選択することで、点火時の点火プラグの周囲のガス流速の上昇を抑えることができる。

【0017】

30

第4の発明によれば、圧縮行程後半での吸排気方向におけるシリンダボア中心断面付近におけるタンブル流の渦中心の前記燃焼室の容積中心に対する偏りを大きくすることによって、第2タンブル形状のタンブル流を生成することができる。

【0019】

第5の発明によれば、吸気弁のリフト量が小さい場合にはそれが大きい場合と比べて、凸部の影響によって吸気が燃焼室の中央方向に流れ易くなる。その結果、第2タンブル形状のタンブル流が生成され易くなる。このため、本発明によれば、エンジン回転速度が低い場合には第2タンブル形状のタンブル流の生成を抑制することで、点火時の点火プラグの周囲のガス流速の低下を抑えることができ、一方、エンジン回転速度が高い場合には第2タンブル形状のタンブル流の生成によって、点火時の点火プラグの周囲のガス流速の上昇を抑えることができる。その結果、エンジン回転速度に依らずに、点火時における点火プラグの周囲のガス流速を着火に適した範囲内に制御することができる。

40

【0020】

第6の発明によれば、吸気弁のリフト量が大きい場合にはそれが小さい場合と比べて、凸部の影響によって吸気が燃焼室の中央方向に流れ易くなる。その結果、第2タンブル形状のタンブル流が生成され易くなる。このため、本発明によれば、エンジン回転速度が低い場合には第2タンブル形状のタンブル流の生成を抑制することで、点火時の点火プラグの周囲のガス流速の低下を抑えることができ、一方、エンジン回転速度が高い場合には第2タンブル形状のタンブル流の生成によって、点火時の点火プラグの周囲のガス流速の上昇を抑えることができる。その結果、エンジン回転速度に依らずに、点火時における点火

50

プラグの周囲のガス流速を着火に適した範囲内に制御することができる。

【図面の簡単な説明】

【0022】

【図1】本発明の実施の形態1の内燃機関のシステム構成を説明するための模式図である。

【図2】混合気の着火遅れと点火プラグの周囲のガス流速と混合気の燃料濃度との関係を表した図である。

【図3】放電切れが発生したケースにおける放電期間中の放電火花の挙動を時系列で表した図である。

【図4】通常のタンブル形状の特徴を説明するための図である。

10

【図5】タンブル形状の特徴を説明するための図である。

【図6】タンブル形状のタンブル流が生成された際の圧縮上死点後半における筒内のガス流速の変化を表した図である。

【図7】タンブル形状のタンブル流の生成に適した条件を説明するための図である。

【図8】通常のタンブル形状とタンブル形状とに関して、圧縮上死点後半におけるプラグ近傍流速の変化を比較して説明するための図である。

【図9】本発明の実施の形態1における点火時のプラグ近傍流速の特徴的な制御を説明するための図である。

【図10】TCVによるタンブル比の調整によってタンブル形状のタンブル流の生成と非生成とを制御することで点火時のプラグ近傍流速を制御する手法を説明するための図である。

20

【図11】本発明の実施の形態1において実行されるルーチンのフローチャートである。

【図12】本発明の実施の形態2において、TCVによるタンブル比の変更によってタンブル形状のタンブル流の生成と非生成とを制御することで点火時のプラグ近傍流速を制御する手法を説明するための図である。

【図13】本発明の実施の形態2において実行されるルーチンのフローチャートである。

【図14】本発明の実施の形態3の内燃機関のシステム構成を説明するための模式図である。

【図15】図14に示す吸気可変動弁装置によって変更される吸気弁のバルブリフト特性を説明するための図である。

30

【図16】図15に示すバルブリフト特性の切り替えに伴う筒内のガス流動の変化を説明するための図である。

【図17】吸気可変動弁装置によるバルブリフト最大期間の切り替えによってタンブル形状のタンブル流の生成と非生成とを制御することで点火時のプラグ近傍流速を制御する手法を説明するための図である。

【図18】本発明の実施の形態3において実行されるルーチンのフローチャートである。

【図19】本発明の実施の形態4の内燃機関のシステム構成を説明するための模式図である。

【図20】図19に示すバルブマスクの詳細な構成を説明するための図である。

【図21】図20中に示すA-A線で吸気ポート周りの構成を切断した断面図である。

40

【図22】バルブマスクと吸気可変動弁装置による吸気弁のリフト量の変更とによってタンブル形状のタンブル流の生成と非生成とを制御することで点火時のプラグ近傍流速を制御する手法を説明するための図である。

【図23】本発明の実施の形態4において実行されるルーチンのフローチャートである。

【図24】本発明の実施の形態5の内燃機関が備えるバルブマスクの詳細な構成を説明するための模式図である。

【図25】図24中に示すB-B線で吸気ポート周りの構成を切断した断面図である。

【図26】バルブマスクと吸気可変動弁装置による吸気弁のリフト量の変更とによってタンブル形状のタンブル流の生成と非生成とを制御することで点火時のプラグ近傍流速を制御する手法を説明するための図である。

50

【図 27】本発明の実施の形態 5 において実行されるルーチンのフローチャートである。

【発明を実施するための形態】

【0023】

実施の形態 1 .

(システム構成の説明)

図 1 は、本発明の実施の形態 1 の内燃機関 10 のシステム構成を説明するための模式図である。本実施形態のシステムは、火花点火式の内燃機関 10 を備えている。内燃機関 10 の各気筒内には、ピストン 12 が設けられている。筒内におけるピストン 12 の頂部側には、燃焼室 14 が形成されている。燃焼室 14 には、吸気通路 16 および排気通路 18 が連通している。

10

【0024】

吸気通路 16 の入口近傍には、吸気通路 16 に吸入される空気の流量に応じた信号を出力するエアフローメータ 20 が設けられている。エアフローメータ 20 の下流には、電子制御式のスロットルバルブ 22 が設けられている。各気筒に向けて分岐した後の吸気通路 16 には、電子制御式のタンブルコントロールバルブ (TCV) 24 が設けられている。TCV 24 は、吸気ポート 16a 内の吸気の流れに偏りを生じさせることにより、筒内にタンブル流 (縦渦流) を生成させるものである。すなわち、TCV 24 は、筒内のガス流動に影響を及ぼすアクチュエータである。この TCV 24 の開度を変更することにより、タンブル流のタンブル比 (タンブル流の角速度 / エンジン回転速度) を調整することができる。

20

【0025】

吸気通路 16 の吸気ポート 16a には、当該吸気ポート 16a を開閉する吸気弁 26 が設けられており、排気通路 18 の排気ポート 18a には、当該排気ポート 18a を開閉する排気弁 28 が設けられている。内燃機関 10 の各気筒内には、筒内に燃料を直接噴射するための燃料噴射弁 30 が設けられている。各気筒内には、更に、混合気に点火するための点火装置 (図示省略) の点火プラグ 32 が設けられている。より具体的には、点火プラグ 32 は、燃焼室 14 の上壁面 (すなわち、シリンダヘッド側の壁面) の中央部付近に配置されている。また、後述の図 6 等に示すように、各気筒内には、吸気弁 26 が隣り合うように 2 つ備えられており、排気弁 28 は、吸気弁 26 の反対側において (すなわち、点火プラグ 32 を間に介して) 隣り合うように 2 つ備えられている。

30

【0026】

内燃機関 10 は、吸気通路 16 と排気通路 18 とを接続する EGR 通路 34 を備えている。EGR 通路 34 の途中には、EGR 通路 34 を通って吸気通路 16 に還流される EGR ガス (外部 EGR ガス) の量を調整するための EGR バルブ 36 が配置されている。この EGR バルブ 36 の開度を変えることにより、EGR 通路 34 を流れる排気ガス (EGR ガス) の流量を変化させて、EGR 率を調整することができる。また、排気通路 18 には、排気ガスの空燃比を検出するための空燃比センサ 38 が配置されている。

【0027】

更に、図 1 に示すシステムは、ECU (Electronic Control Unit) 40 を備えている。ECU 40 の入力部には、上述したエアフローメータ 20 および空燃比センサ 38 に加え、エンジン回転速度を検出するためのクランク角センサ 42 等の内燃機関 10 の運転状態を検知するための各種センサが接続されている。また、ECU 40 の出力部には、上述したスロットルバルブ 22、TCV 24、燃料噴射弁 30、点火プラグ 32 および EGR バルブ 36 等の内燃機関 10 の運転を制御するための各種アクチュエータが接続されている。ECU 40 は、上述した各種センサと所定のプログラムとに従って各種アクチュエータを作動させることにより、燃料噴射制御および点火制御などの所定のエンジン制御とともに、後述するタンブル流の制御を行うものである。

40

【0028】

(リーンバーン運転における点火時の点火プラグ周囲のガス流速の制御の必要性)

図 2 は、混合気の着火遅れと点火プラグ 32 の周囲のガス流速と混合気の燃料濃度との

50

関係を表した図である。

内燃機関10の運転領域は、混合気の燃料濃度が低い(空気(EGRガスの導入時にはEGRガスを含む)に対する燃料の割合が小さい)条件で行われるリーンバーン運転領域を含んでいる。このように、本明細書中において混合気の燃料濃度の高低を説明する際には、空気だけでなくEGRガスの存在も想定されている。上記リーンバーン運転は、より詳細に説明すると、EGR率がゼロ、かつ理論空燃比で運転される基準条件と比べて空気量もしくはEGRガス量が多いことで、混合気の燃料濃度が上記基準条件と比べて低い条件で行われるものであるといえる。また、言い換えれば、上記リーンバーン運転は、混合気の燃料濃度が所定値以下となる条件(混合気の着火性の悪化(着火遅れ)が懸念される条件)で行われるものであるといえる。尚、リーンバーン運転領域は、エンジン回転速度とエンジン負荷とで特定される。

10

【0029】

したがって、本明細書でいうリーンバーン運転には、理論空燃比よりも高い空燃比下で行われる運転(すなわち、燃料量に対して空気量の割合を高めることで燃料濃度を希薄化させて行われる運転)だけでなく、多量のEGRガスの導入による高EGR率下で行われる運転(すなわち、燃料量に対してEGRガス量の割合を高めることで燃料濃度を希薄化させて行われる運転)が含まれる。このような高EGR率下での運転には、空燃比としては理論空燃比近傍で行われる運転も含まれ得る。

【0030】

高熱効率を達成する上記リーンバーン運転においては、筒内の混合気の燃料濃度のリーン化を進めて内燃機関10から排出されるNO_xを低減することが重要である。しかしながら、リーンバーン運転時(特に、本実施形態の内燃機関10がそうであるように筒内全体にリーン混合気を均質に形成して行う均質リーンバーン燃焼時)には、燃料濃度の過度なリーン化は、燃焼を不安定にさせる要因となる。

20

【0031】

図2に示すように、リーンバーン運転時には、混合気の着火遅れは、燃料濃度がリーンになるにつれて長くなる。着火遅れが長くなると、内燃機関10のトルク変動が大きくなる。また、着火遅れは、点火時(点火プラグ32の放電期間中)の点火プラグ32の周囲のガス流速(以下、「プラグ近傍流速」と称する)に応じて変化する。したがって、トルク変動が許容レベルとなる範囲内に着火遅れを収めて安定した燃焼が得られるようにするためには、点火時のプラグ近傍流速を一定範囲内に収めることが必要となる。そのためのプラグ近傍流速の所定の流速範囲は、図2に示すように、燃料濃度が希薄になるにつれて狭くなる。

30

【0032】

着火遅れとプラグ近傍流速との間には、ある流速値(最適値)に対して高流速側および低流速側に向かうにつれて着火遅れが長くなるという関係がある。次に、図3を参照して、高流速側と低流速側で着火遅れが長くなる理由について説明する。図3は、放電切れが発生したケースにおける放電期間中の放電火花の挙動を時系列で表した図である。

【0033】

図3(A)に示すように放電が開始された後には、点火プラグ32の周囲のガス流れによって、プラグギャップに生じた電気火花が図3(B)、3(C)に示すように流される。これにより、放電経路長が長くなる。放電が生ずると、放電火花の経路上の気体がイオン化することで電気抵抗が小さくなる。しかしながら、プラグ近傍流速が高いために放電経路が長くなりすぎると、プラグギャップの最短距離での電気抵抗値よりも放電経路上の電気抵抗値が大きくなり、図3(D)に示すように放電切れが発生する。放電切れが発生した場合には、図3(E)に示すようにプラグギャップの最短距離にて再放電が直ちに行われる。

40

【0034】

先ず、高流速側で着火性能が悪化する理由について説明する。希薄限界近傍の燃料濃度下では、混合気が着火に至る(化学反応が開始する)までに一定の時間が必要となる。プ

50

プラグ近傍流速が高くなると、放電切れに至るまでの時間が短くなるため、ある位置での同一の混合気を電気火花によって加熱して着火に至らせるまでの時間が不十分となる。その結果、着火性能が悪化する。

【 0 0 3 5 】

次に、低流速側で着火性能が悪化する理由について説明する。放電による電気火花の単位長さ当たりのエネルギーは、点火コイルの特性によって定まり、放電の経路長の如何に関係なく一定である。このため、気流等によって放電経路が長くなると、混合気全体への供給エネルギーが増加するとともに、加熱される混合気の体積も増加する。しかしながら、プラグ近傍流速が低くなると、放電経路が延長しにくくなるため、供給エネルギーおよび混合気体積の増加が得られなくなる。その結果、着火性能が悪化する。

10

【 0 0 3 6 】

上述したように、トルク変動が許容レベルとなる範囲内に着火遅れを収めて安定した燃焼が得られるようにするためには、点火時のプラグ近傍流速を一定範囲内に収めることが必要となる。しかしながら、筒内に流入するガスの流速は、エンジン回転速度に比例する。したがって、プラグ近傍流速に対して何らの制御を行わない場合には、プラグ近傍流速は、後述する図9中に破線で示すようにエンジン回転速度に比例して単調に増加する。そこで、本実施形態では、筒内に生成するタンブル流の形状の変更を利用して、リーンバーン運転領域における点火時のプラグ近傍流速を制御する。より具体的には、通常のタンブル形状（第1タンブル形状）と以下のように定義する タンブル形状（第2タンブル形状）との間でタンブル流の形状が変更される。

20

【 0 0 3 7 】

（ タンブル形状のタンブル流の生成メカニズム ）

図4は、通常のタンブル形状の特徴を説明するための図であり、図5は、 タンブル形状の特徴を説明するための図である。より具体的には、図4（A）および図5（A）は、燃焼室14を上方から見下ろした平面図であり、図4（B）および図5（B）は、燃焼室14を吸気側から見た側面図であり、図4（C）および図5（C）は、燃焼室14を上方から見て通常のタンブル形状および タンブル形状のタンブル流の流れ方向をそれぞれ表した図である。図4および図5は、圧縮行程における圧縮上死点近傍のタイミングでのものである。

30

【 0 0 3 8 】

筒内に生成されるタンブル流の基本的な回転方向は、図1では時計回りとなり、すなわち、吸気ポート16aから筒内に流入したガスが、燃焼室14の頂面、排気弁28側の筒内壁面、ピストン12の頂面、吸気弁26側の筒内壁面、および燃焼室14の頂面という順でこれらの部位に向かって流れる方向である。尚、以下に登場するタンブル中心軸とは、図4（A）中に付した矢視Aの方向から見た燃焼室14の各断面におけるタンブル流の渦中心点を繋げて得られるものである。また、図4および図5中の白丸印は、点火プラグ32が設置されたシリンダボア中心での断面（吸排気方向における断面）におけるタンブル流の渦中心点を示し、同図中の黒丸印は、吸気弁26および排気弁28の軸中心での断面におけるタンブル流の渦中心点を示している。

40

【 0 0 3 9 】

通常のタンブル形状のタンブル中心軸は、図4（A）、4（B）に示すように、シリンダに対して水平で曲がりのない軸である。このため、通常のタンブル形状での流れは、圧縮行程の後半においても、図4（C）に示すように、吸気側から排気側に向かうような流れとなる。これに対し、 タンブル形状のタンブル中心軸は、図5（A）、5（B）に示すように、シリンダボア中心（点火プラグ位置）でのタンブル流の渦中心を屈曲点として屈曲した軸となる。より具体的には、 タンブル形状では、図5（B）に示すようにシリンダボア中央での断面のタンブル流の渦中心位置（白丸印）がその周囲の渦中心位置に対して高くなる（より具体的には、圧縮上死点近傍において、シリンダボア中央での断面のタンブル流の渦中心位置に、燃焼室14の容積中心に対して水平より上方向への偏りが発生する）。（以下、このような態様での偏りを、単に「タンブル流の渦中心の偏り」と称

50

する)。このため、このような場合には、本来は筒内で1つの剛体渦となるべきタンブル流が、筒内ガスが圧縮行程において圧縮されていく過程で、タンブル中心軸の屈曲によって2つの中心軸を有するタンブル流（燃烧室14を上方から見て回転方向が互いに逆となる2つのスワール流（横渦流）成分を有するタンブル流）に変化していく。その結果、タンブル形状では、図5（C）に示すように、圧縮上死点近傍において、燃烧室14を上方から見て形状の流れとなる。このような形状の流れが生成されることにより、圧縮行程における圧縮上死点近傍にて、点火プラグ32の周囲のガスの流れ方向が反転することとなる。

【0040】

更に付け加えると、吸気行程においては、通常のタンブル形状とタンブル形状のどちらであっても、タンブル中心軸に屈曲が生ずる。このタンブル中心軸の屈曲が圧縮上死点付近まで残るケースでは、タンブル形状が得られ、タンブル中心軸の屈曲が圧縮行程中に消滅するケースでは、通常のタンブル形状が得られる。

10

【0041】

図6は、タンブル形状のタンブル流が生成された際の圧縮上死点後半における筒内のガス流速の変化を表した図である。より具体的には、図6（A）は測定点A（プラグギャップ位置）におけるガス流速の変化を示し、図6（B）は測定点Aに対してシリンダボアの径方向外側の所定位置におけるガス流速の変化を示し、図6（C）は測定点Aに対して更にシリンダボアの径方向外側の所定位置におけるガス流速の変化を示している。尚、図6においては、吸気弁側から排気弁側に向かう流れの流速を正とする。これは、後述する図8も同様である。

20

【0042】

図6（A）に示すように、タンブル形状のタンブル流が生成された場合には、圧縮上死点近傍において、プラグギャップ位置における筒内ガスの流れ方向が反転し、すなわち、吸気弁側から排気弁側に向かう流れから排気弁側から吸気弁側に向かう流れに変化する。この筒内ガスの流れ方向の変化は、図6中の各図を比較して分かるように、プラグギャップ位置から離れるにつれて弱くなる。尚、図6に示すケースでは、測定点Cでは流れ方向の反転が生じなくなっている。

【0043】

以上説明したように、圧縮行程の後半においてタンブル中心軸が屈曲し、タンブル流の渦中心に偏りが発生した場合には、タンブル形状が得られ、圧縮上死点近傍において、シリンダボア中心位置（プラグギャップ位置）での筒内ガスの流れ方向に反転が生ずることとなる。したがって、通常のタンブル形状（第1タンブル形状）は、（後述の図8に示すように）元々吸気弁側から排気弁側に向かう方向の流れであった点火プラグ32の周囲のガスの流速が圧縮上死点に近づくにつれてゼロに収束するものであり、一方、タンブル形状（第2タンブル形状）は、圧縮上死点の後半において点火プラグ32の周囲のガスの流れ方向がプラグ近傍流速の低下に伴って吸気弁側から排気弁側に向かう方向から排気弁側から吸気弁側に向かう方向に反転するものであるといえる。

30

【0044】

図7は、タンブル形状のタンブル流の生成に適した条件を説明するための図である。図7（A）は、吸気行程の中期での筒内のガス流れの様子を表している。ピストン12の速度は、吸気行程の中期において最大となり、また、一般に吸気弁26のバルブリフト量はこのようなタイミングで最も大きくなるように設定される。このため、図7（A）中に矢印で示すように流量の多い吸気の塊Mが、吸気行程の中期において筒内に流入し、吸気弁26の近傍に存在する。

40

【0045】

図7（B）は、圧縮行程の中期にある時、すなわち、図7（A）に示すタイミングからピストン12が1ストロークした時の筒内のガス流れの様子を表している。尚、図7（B）中に示すタンブル中心点は、吸気の塊Mを主とする流れの渦中心（燃烧室14の容積中心に対する偏りが発生している状態）を指している。

50

【 0 0 4 6 】

図 7 に示すケースでは、図 7 (B) に示すように、図 7 (A) に示した吸気の塊 M が、ピストン 1 2 が 1 ストロークする間に筒内で 2 7 0 ° 程度回転し、吸気側に位置している。このようなケースでは、そもそも吸気の塊 M が存在していることによって、圧縮行程後半における燃焼室 1 4 の容積中心に対するタンブル流の渦中心の偏りが加速される。そのうえで、このケースでは、ピストン 1 2 の速度が最大となる圧縮行程の中期において吸気の塊 M が吸気側に位置していることで、ピストン 1 2 の上昇によって、塊 M の流れが更に加速される。その結果、その後の圧縮行程におけるタンブル流の渦中心の偏りが促進される。

【 0 0 4 7 】

上記のケースとは逆に、圧縮行程の中期において吸気の塊が排気側に位置していると、ピストン 1 2 の上昇は、その塊状の流れの勢いを打ち消すように作用し、一方、このタイミングにおいて吸気側に位置している塊状でない流れがピストン 1 2 の上昇によって少し加速するようになる。その結果、タンブル流の渦中心は、図 7 に示すケースとは逆に、燃焼室 1 4 の容積中心に近づいていき、タンブル中心軸の屈曲が解消されていく。

【 0 0 4 8 】

以上の内容から、圧縮行程においてピストン 1 2 の速度が最大となるタイミング（圧縮行程の中期）において流量の多い吸気の塊 M が吸気側に位置している条件において、タンブル流の渦中心の偏りが効果的に大きくなり、タンブル形状のタンブル流が効果的に生成されることが分かるといえる。したがって、あるタンブル比から、図 7 に示すように 1 ストローク中に筒内ガスが回転する際のタンブル比に向けてタンブル比を変更していくことで、タンブル流の渦中心の偏り度合いを高めてタンブル形状の流れを強化していくことが可能となる。

【 0 0 4 9 】

（実施の形態 1 の制御の特徴部分）

図 8 は、通常のタンブル形状とタンブル形状とに関して、圧縮上死点後半におけるプラグ近傍流速の変化を比較して説明するための図である。尚、図 8 は、タンブル形状のタンブル流の生成時における点火プラグ 3 2 の周囲でのガス流れ方向の反転タイミングがリーンバーン運転時の点火時期の設定範囲よりも後になるケースを前提としている。本実施形態および後述の実施の形態 2 ~ 5 における制御は、この前提に基づくものである。

【 0 0 5 0 】

図 8 に示すように、タンブル形状のタンブル流が生成された場合には、圧縮行程後半において形状の流れの生成が進むにつれ、通常のタンブル形状のタンブル流が生成される場合と比べてプラグ近傍流速が大きく低下していき、やがては点火プラグ 3 2 の周囲のガスの流れ方向が反転する。このようなプラグ近傍流速の低下は、タンブル形状の流れが強いほど（タンブル流の渦中心の偏りが強いほど）顕著となる。したがって、通常のタンブル形状とタンブル形状との間でタンブル流の形状が変更されるようにタンブル流を制御することによって、点火時におけるプラグ近傍流速を制御することが可能となる。

【 0 0 5 1 】

図 9 は、本発明の実施の形態 1 における点火時のプラグ近傍流速の特徴的な制御を説明するための図である。

そこで、本実施形態では、リーンバーン運転領域において、点火時のプラグ近傍流速を所定の流速範囲（着火最適範囲）内に制御するために、エンジン回転速度に応じて通常のタンブル形状とタンブル形状との間でタンブル流の形状を変化させるようにした。より具体的には、図 9 に示すように、リーンバーン運転領域内の低エンジン回転速度側の第 1 エンジン回転速度領域 R 1 では、タンブル形状の流れの生成を抑制して通常のタンブル形状のタンブル流が生成されるようにタンブル流を制御し、リーンバーン運転領域内の高エンジン回転速度側の第 2 エンジン回転速度領域 R 2 では、タンブル形状のタンブル流が生成されるようにタンブル流を制御するようにした。

【 0 0 5 2 】

10

20

30

40

50

本実施形態のタンブル流の制御の対象となるリーンバーン運転領域は、リーンバーン運転を行うように事前に設定された領域であってもよいし、全運転領域中における当該領域の位置や当該領域が占める大きさが運転中に適宜変更される領域であってもよい。また、当該リーンバーン運転領域は、内燃機関10においてリーンバーン運転が行われる運転領域の全域であってもよいし、もしくは、その中で最も高い空燃比（もしくは空燃比範囲）で運転されたり、最も高いEGR率（もしくはEGR率範囲）を使用して運転されたりすることによって最も着火性の確保が厳しい一部の領域であってもよい。

【0053】

図9中に示す流速範囲は、図2および図3を参照して上述した、リーンバーン運転時における混合気の着火性に関する問題を回避することのできる最適な流速範囲（着火最適範囲）である。また、この着火最適範囲は、サイクル間での着火のばらつきを考慮したものである。破線で示すプラグ近傍流速 - エンジン回転速度特性では、到底、リーンバーン運転領域における点火時のプラグ近傍流速を上記流速範囲内に収め切ることができない。これに対し、本実施形態の内燃機関10では、エンジン回転速度の変化に応じてタンブル形状のタンブル流の生成と非生成とを制御することで、リーンバーン運転領域において、点火時のプラグ近傍流速を上記流速範囲内に収められるようにすることが可能となる。

10

【0054】

（実施の形態1における特徴的な制御の具体例）

図10は、TCV24によるタンブル比の調整によってタンブル形状のタンブル流の生成と非生成とを制御することで点火時のプラグ近傍流速を制御する手法を説明するための図である。

20

【0055】

図10に示す手法は、TCV24を用いたタンブル比の制御によって、タンブル流の形状を通常のタンブル形状とタンブル形状との間で制御するというものである。エンジン回転速度に関係なく図10中に示す第1TCV開度でTCV開度を固定した場合には、エンジン回転速度の増加に伴うガス流速の増加によって、リーンバーン運転領域における高回転側の領域においてプラグ近傍流速が着火最適範囲から外れてしまい、また、同様に、第2TCV開度で固定した場合には、低回転側の領域においてプラグ近傍流速が着火最適範囲から外れてしまう。

【0056】

第1TCV開度は、タンブル形状のタンブル流の生成に適した範囲（図7に示す例のように1ストローク中に筒内ガスが回転する際のタンブル比を中心とする所定範囲）内のタンブル比よりも大きなタンブル比が得られる開度として設定されたものであるとする。このように設定された第1TCV開度を用いることで、タンブル形状の流れの生成を抑制し、通常のタンブル形状のタンブル流を生成することができる。また、第2TCV開度は、タンブル形状のタンブル流の生成に適した上記範囲内のタンブル比が得られる開度として設定されたものであるとする。このように設定された第2TCV開度を用いることで、タンブル流の渦中心に偏りを生じさせ、タンブル形状のタンブル流を生成することができる。更に付け加えると、第2TCV開度は、第1エンジン回転速度NE1である時にプラグ近傍流速が着火最適範囲の下限を下回らないように設定されたTCV開度であるものとする。

30

40

【0057】

図10に示すケースでは、リーンバーン運転領域における低回転側の領域（第1エンジン回転速度領域R1）では、第1TCV開度を用いることで、通常のタンブル形状のタンブル流を利用してプラグ近傍流速を着火最適範囲内に収めることができる。そこで、本実施形態では、第1TCV開度でTCV開度を固定したままでは着火最適範囲の上限に達してしまう第1エンジン回転速度NE1よりも低いエンジン回転速度領域R1においてはTCV開度が第1TCV開度に制御される。

【0058】

一方、第1エンジン回転速度NE1以上となる高エンジン回転速度領域（第2エンジン

50

回転速度領域 R 2) においては T C V 開度が第 2 T C V 開度に制御される。これにより、タンブル形状のタンブル流の生成によって、図 1 0 (A) に示すように、タンブル流形状が変更される第 1 エンジン回転速度 N E 1 付近において、プラグ近傍流速を低下させることができる。このように、エンジン回転速度に応じてタンブル流の形状を変化させることにより、リーンバーン運転領域における点火時のプラグ近傍流速を着火最適範囲内に保持できるようになる。

【 0 0 5 9 】

また、図 1 0 に示す手法では、第 1 エンジン回転速度 N E 1 よりも高回転側の領域 R 2 において T C V 開度を第 2 T C V 開度で固定するようにしているが、これに代え、当該高回転側の領域においてエンジン回転速度が高いほど、タンブル流の渦中心の偏り度合いの
10
高いタンブル比が得られるように T C V 開度を調整してもよい。これにより、エンジン回転速度の上昇に伴って タンブル形状の流れがより強化されるので、図 9 に表したように、上記高回転側の領域におけるエンジン回転速度の変化に対するプラグ近傍流速の変化を緩やかにすることができる。

【 0 0 6 0 】

図 1 1 は、本発明の実施の形態 1 における特徴的な制御を実現するために、 E C U 4 0 が実行する制御ルーチンを示すフローチャートである。尚、本ルーチンは、各気筒に対して内燃機関 1 0 のサイクル毎に繰り返し実行されるものとする。

【 0 0 6 1 】

図 1 1 に示すルーチンでは、 E C U 4 0 は、先ず、エアフローメータ 2 0 およびクランク角センサ 4 2 等の出力を利用して、内燃機関 1 0 の現在の運転領域（エンジン回転速度とエンジン負荷）を決定（特定）する（ステップ 1 0 0 ）。次いで、 E C U 4 0 は、現在の運転領域が混合気の燃料濃度の低いリーンバーン運転領域であるか否かを判定する（ステップ 1 0 2 ）。
20

【 0 0 6 2 】

ステップ 1 0 2 においてリーンバーン運転領域であると判定した場合には、 E C U 4 0 は、目標空燃比（ A / F ）を決定する（ステップ 1 0 4 ）。 E C U 4 0 は、 N O x 排出量の抑制の観点で運転領域に応じて目標空燃比を定めたマップ（図示省略）を記憶しており、本ステップ 1 0 4 では、そのようなマップを参照して目標空燃比が決定される。

【 0 0 6 3 】

次に、 E C U 4 0 は、決定した目標空燃比に応じて点火プラグ 3 2 に供給する点火エネルギーを決定する（ステップ 1 0 6 ）。尚、点火エネルギーの調整は、例えば、点火プラグ 3 2 のために複数の点火コイルを備えるようにしておき、必要に応じて放電に用いる点火コイルの数を変更することによって行うことができる。

【 0 0 6 4 】

次に、 E C U 4 0 は、現在のエンジン回転速度 N E が第 1 エンジン回転速度 N E 1 よりも低い
30
か否かを判定する（ステップ 1 0 8 ）。第 1 エンジン回転速度 N E 1 は、上述したように、リーンバーン運転領域においてエンジン回転速度に応じてタンブル流の形状を変更する際の閾値である。

【 0 0 6 5 】

ステップ 1 0 8 の判定が成立する場合（ N E < N E 1 ）には、 E C U 4 0 は、第 1 T C V 開度を用いて流速制御値（目標 T C V 開度）を決定するとともに、目標空燃比の下で要求トルクを実現するためのスロットル開度、燃料噴射量および点火時期のそれぞれの目標値を所定のマップ等に従って決定する（ステップ 1 1 0 ）。一方、ステップ 1 0 8 の判定が不成立となる場合（ N E ≥ N E 1 ）には、 E C U 4 0 は、第 2 T C V 開度を用いて流速制御値（目標 T C V 開度）を決定するとともに、目標空燃比の下で要求トルクを実現するためのスロットル開度、燃料噴射量および点火時期のそれぞれの目標値を所定のマップ等に従って決定する（ステップ 1 1 2 ）。次いで、 E C U 4 0 は、決定された各種目標値に従って、各種アクチュエータ（スロットルバルブ 2 2、 T C V 2 4、燃料噴射弁 3 0 および点火プラグ 3 2 ）を制御する（ステップ 1 1 4 ）。
40
50

【0066】

以上説明した図11に示すルーチンによれば、TCV24を用いてエンジン回転速度に応じて通常のタンブル形状とタンブル形状との間でタンブル流の形状を変化させることによって、リーンバーン運転領域における点火時のプラグ近傍流速を、エンジン回転速度の高低に依らずに着火最適範囲内に保持することが可能となる。このため、リーンバーン運転時における混合気の着火性を向上させることができる。

【0067】

また、本実施形態におけるタンブル流の制御手法によれば、タンブル流の形状の変更を伴わずにタンブル比の調整によってプラグ近傍流速を制御する手法と比べて、タンブル比の調整量が少なく済む。これにより、燃焼に重要な筒内ガスの乱れをあまり弱めずに、プラグ近傍流速を制御して着火性を向上させることができる。

10

【0068】

ところで、上述した実施の形態1においては、リーンバーン運転領域においてエンジン回転速度に応じてタンブル形状のタンブル流の生成と非生成とを制御するために、タンブル形状のタンブル流の生成に適した範囲内のタンブル比よりも大きいタンブル比が得られる第1TCV開度と、タンブル形状のタンブル流の生成に適した範囲内のタンブル比が得られる第2TCV開度との間で、TCV開度を制御することとしている。しかしながら、タンブル形状のタンブル流を非生成とするためのTCV開度は、第1TCV開度に代え、タンブル形状のタンブル流の生成に適した範囲内のタンブル比よりも小さいタンブル比が得られる所定のTCV開度であってもよい。

20

【0069】

また、上述した実施の形態1における図11に示すルーチンの制御は、リーンバーン運転領域において、目標流速範囲(着火最適範囲)内のプラグ近傍流速の目標値に対応する目標TCV開度となるようにTCV開度を制御することによって、点火時のプラグ近傍流速を着火最適範囲内に制御するというものである。このような制御に加え、次のようなフィードバック制御を行うこととしてもよい。すなわち、点火時のプラグ近傍流速は、例えば、点火プラグ32に印加される点火コイルの放電電圧の計測器を備えておくことによって放電電圧に基づいて計測することができる。また、プラグ近傍流速は、例えば、クランク角センサ42などを利用して推定した燃焼変動に基づいて推定してもよい。そして、内燃機関10の運転中に、プラグ近傍流速の目標値に対する計測値の乖離が生じている場合には、プラグ近傍流速の計測値を着火最適範囲内に収めるためにTCV開度を調整するフィードバック制御を行うようにしてもよい。また、上記の乖離が生じている場合には、TCV開度のフィードバック制御に代えて、筒内の空燃比もしくは点火エネルギーを調整するフィードバック制御を行うようにしてもよい。筒内の空燃比の場合には、燃焼を改善するために空燃比をリッチ側に制御することが好適であり、点火エネルギーの場合には、同様の理由で点火エネルギーを高めることが好適である。尚、上述した各種のフィードバック制御は、後述する各実施の形態の何れと組み合わせてもよい。

30

【0070】

尚、上述した実施の形態1においては、ECU40が上記ステップ108~114の処理を実行することにより前記第1の発明における「タンブル流制御手段」が実現されている。

40

【0071】

実施の形態2

次に、図12および図13を参照して、本発明の実施の形態2について説明する。

本実施形態のシステムは、図1に示すハードウェア構成を用いて、ECU40に図11に示すルーチンに代えて後述の図13に示すルーチンを実行させることにより実現することができるものである。

【0072】

図12は、本発明の実施の形態2において、TCV24によるタンブル比の変更によってタンブル形状のタンブル流の生成と非生成とを制御することで点火時のプラグ近傍流

50

速を制御する手法を説明するための図である。

本実施形態におけるタンブル流の制御手法は、TCV24を用いてエンジン回転速度に応じてタンブル形状のタンブル流の生成と非生成とを制御することを利用して、リーンバーン運転領域でプラグ近傍流速が着火最適範囲内に収まるように、エンジン回転速度の変化に対してプラグ近傍流速が略一定となるエンジン回転速度領域を作り出すというものである。

【0073】

具体的には、リーンバーン運転領域における第2エンジン回転速度NE2よりも低回転側の領域(第1エンジン回転速度領域R1)では、通常のタンブル形状のタンブル流を生成するための第3TCV開度にTCV開度が制御される。第3TCV開度は、タンブル形状のタンブル流の生成に適したタンブル比範囲の境界(図12に示す例では上限)近傍のタンブル比が得られる開度である。

10

【0074】

図12(C)に示すように、リーンバーン運転領域における第2エンジン回転速度NE2~第3エンジン回転速度NE3までのエンジン回転速度領域(第2エンジン回転速度領域R2に含まれる)では、エンジン回転速度の上昇に伴ってTCV開度が第3TCV開度から第4TCV開度に向けて徐々に開かれていく。タンブル比としては、図12(B)に示すように、エンジン回転速度の上昇に伴って、1ストローク中の筒内ガスの回転角度が上記タンブル比範囲内の最適なタンブル比(図7を参照して説明したタンブル比)に近づくように上記境界近傍の値から徐々に下げられていくことになる。その結果、このエンジン回転速度領域(NE2~NE3)では、タンブル形状のタンブル流が生成され、かつ、生成されるタンブル形状の流れがエンジン回転速度の上昇に伴うタンブル流の渦中心の偏り度合いの増大によって強化されていく。

20

【0075】

プラグ近傍流速は、タンブル比が一定であれば、エンジン回転速度の上昇に伴って単調に増加する。また、タンブル形状の流れが強化されるほど、点火時のプラグ近傍流速を低下させることができる。したがって、エンジン回転速度領域(NE2~NE3)では、タンブル形状の流れの強化によるプラグ近傍流速の低下の作用によってエンジン回転速度の上昇に伴うプラグ近傍流速の上昇の作用が打ち消されるようにTCV開度が開かれていくことになる。これにより、エンジン回転速度の変化に対してプラグ近傍流速が略一定となる特性を得ることができる。尚、図12に示すケースでは、リーンバーン運転領域における第3エンジン回転速度NE3よりも高回転側の領域(これも第2エンジン回転速度領域R2に含まれる)では、TCV開度が第4TCV開度で固定されているため、エンジン回転速度の上昇に伴ってプラグ近傍流速が単調に増加する。

30

【0076】

図13は、本発明の実施の形態2における特徴的な制御を実現するために、ECU40が実行する制御ルーチンを示すフローチャートである。尚、図13において、実施の形態1における図11に示すステップと同一のステップについては、同一の符号を付してその説明を省略または簡略する。

【0077】

図13に示すルーチンでは、ECU40は、上記ステップ106において点火エネルギーを決定した後に、現在のエンジン回転速度NEが第2エンジン回転速度NE2よりも低いか否かを判定する(ステップ200)。第2エンジン回転速度NE2は、リーンバーン運転領域においてエンジン回転速度に応じてタンブル流の形状を変更する際の閾値である。

40

【0078】

ステップ200の判定が成立する場合($NE < NE2$)には、ECU40は、第3TCV開度を用いて流速制御値(目標TCV開度)を決定するとともに、目標空燃比の下で要求トルクを実現するためのスロットル開度、燃料噴射量および点火時期のそれぞれの目標値を所定のマップ等に従って決定する(ステップ202)。一方、ステップ200の判定

50

が不成立となる場合には、ECU40は、次いで、現在のエンジン回転速度NEが第2エンジン回転速度NE2以上であって第3エンジン回転速度NE3よりも低いかなかを判定する(ステップ204)。

【0079】

ステップ204の判定が成立する場合(NE2 NE < NE3)には、ECU40は、次いで、エンジン回転速度の変化に対してプラグ近傍流速が略一定となるように、流速制御値(本実施形態では、目標TCV開度)を決定するとともに、目標空燃比の下で要求トルクを実現するためのスロットル開度、燃料噴射量および点火時期のそれぞれの目標値を所定のマップ等に従って決定する(ステップ206)。より具体的には、ECU40は、リーンバーン運転領域において用いる目標TCV開度を決定するために、タンブル形状の流れの強化によるプラグ近傍流速の低下の作用によってエンジン回転速度の上昇に伴うプラグ近傍流速の上昇の作用を打ち消すことのできるTCV開度をエンジン回転速度との関係で実験等により予め定めたマップ(図示省略)を記憶している。ECU40は、本ステップ206では、そのようなマップを参照して、現在のエンジン回転速度に応じた目標TCV開度(流速制御値)を決定する。

10

【0080】

一方、ステップ204の判定が不成立となる場合(NE3 NE)には、ECU40は、次いで、第4TCV開度を用いて流速制御値(目標TCV開度)を決定するとともに、目標空燃比の下で要求トルクを実現するためのスロットル開度、燃料噴射量および点火時期のそれぞれの目標値を所定のマップ等に従って決定する(ステップ208)。

20

【0081】

以上説明した図13に示すルーチンによれば、TCV24を用いてエンジン回転速度に応じて通常のタンブル形状とタンブル形状との間でタンブル流の形状を変化させることによって、リーンバーン運転を行うエンジン回転速度領域における点火時のプラグ近傍流速を、エンジン回転速度の変化に対して略一定となるように制御することができる。これにより、点火時のプラグ近傍流速を着火最適範囲内に好適に収めることができる。

【0082】

また、着火最適範囲内のプラグ近傍流速には、着火遅れが最小となる最適値が存在する。本実施形態の制御手法によれば、実施の形態1の制御手法と比べ、そのような最適値が得られるようにプラグ近傍流速を制御し易くなる。このため、リーンバーン運転時における混合気の着火性を向上させつつ、リーン限界を拡大させることができる。

30

【0083】

ところで、上述した実施の形態2においては、リーンバーン運転を行うエンジン回転速度領域においてエンジン回転速度の変化に対してプラグ近傍流速が略一定となる特性を得るために、タンブル形状のタンブル流の生成に適したタンブル比の範囲の境界(上限)近傍のタンブル比が得られる第3TCV開度と、タンブル形状のタンブル流の生成に適した範囲内のタンブル比が得られる第4TCV開度との間で、TCV開度を制御することとしている。しかしながら、このような制御のために用いるTCV開度は、第3TCV開度に代え、タンブル形状のタンブル流の生成に適したタンブル比の範囲の境界(下限)近傍のタンブル比が得られる所定のTCV開度であってもよい。より具体的には、リーンバーン運転領域におけるエンジン回転速度領域では、エンジン回転速度の上昇に伴ってTCV開度が上記所定のTCV開度から第4TCV開度に向けて徐々に閉じられるようになっていてもよい。これにより、タンブル比としては、エンジン回転速度の上昇に伴って、1ストローク中の筒内ガスの回転角度が上記タンブル比範囲内の最適なタンブル比に近くように上記境界近傍の値から徐々に上げられていくことになる。その結果、このような代替手法によっても、上記エンジン回転速度領域では、タンブル形状のタンブル流が生成され、かつ、生成されるタンブル形状の流れがエンジン回転速度の上昇に伴うタンブル流の渦中心の偏り度合いの増大によって強化されていくようになる。

40

【0084】

尚、上述した実施の形態2においては、ECU40が上記ステップ200~208およ

50

び114の処理を実行することにより前記第1～第4の発明における「タンブル流制御手段」が実現されている。

【0085】

実施の形態3.

次に、図14～図15を参照して、本発明の実施の形態3について説明する。

(システム構成の説明)

図14は、本発明の実施の形態3の内燃機関50のシステム構成を説明するための模式図である。尚、図14において、図1に示す構成要素と同一の要素については、同一の符号を付してその説明を省略または簡略する。

【0086】

本実施形態の内燃機関50は、TCV24を備えずに吸気通路52の吸気ポート52aの形状によって筒内にタンブル流を生成可能に構成されている点と吸気可変動弁装置54を備えている点とを除き、上述した内燃機関10と同様に構成されているものとする。吸気可変動弁装置54は、吸気弁26を駆動するためにプロフィールの異なる2つのカムを備え、当該カムを切り替えることによって吸気弁26のバルブリフト特性を2段階に切り替え可能な装置である。このようにバルブリフト特性を2段階に切り替え可能な動弁装置自体は周知のものであるので、ここではその具体的な構成の説明を省略する。

【0087】

図15は、図14に示す吸気可変動弁装置54によって変更される吸気弁26のバルブリフト特性を説明するための図である。

吸気可変動弁装置54は、図15に示すように、一般的な形状のバルブリフト特性(破線)と、破線で示すバルブリフト特性と比べてバルブリフト量が最大となる期間の長いリフト特性(実線)との間でバルブリフト特性を切り替えるものである。

【0088】

(実施の形態3の制御の特徴部分)

図16は、図15に示すバルブリフト特性の切り替えに伴う筒内のガス流動の変化を説明するための図である。尚、図16は、吸気行程においてピストン12の速度が最大となり、かつ、吸気弁26のバルブリフト量が高いことで、流量が多い状態で吸気が筒内に流入するタイミング(吸気行程の中期)付近でのものである。

【0089】

バルブリフト最大期間の長いバルブリフト特性が選択されている場合には、図16(A)に示すように、流量が多い状態で吸気が流入するタイミング付近において、吸気が大きな塊とはならず分散して筒内に流入する。一方、バルブリフト最大期間の短いバルブリフト特性が選択されている場合には、図16(B)に示すように、上記タイミング付近において、吸気が大きな塊となって集中して筒内に流入する。このように、バルブリフト最大期間を変更可能な吸気可変動弁装置54は、筒内のガス流動に影響を及ぼすアクチュエータである。

【0090】

バルブリフト最大期間を長くして吸気の塊を分散することによって、圧縮行程後半において燃焼室14の容積中心に対するタンブル流の渦中心の偏りを抑制することができる。これにより、タンブル形状の流れの生成が抑制され、通常のタンブル形状のタンブル流が生成されるようになるため、点火時のプラグ近傍流速を高くすることができる。一方、バルブリフト最大期間を短くして吸気の塊を集中させることによって、タンブル流の渦中心の偏りを生じさせることができる。これにより、タンブル形状のタンブル流が生成されるようになるため、通常のタンブル形状のタンブル流の生成時と比べて、プラグ近傍流速を低くすることができる。尚、バルブリフト最大期間を短く制御した際に効果的にタンブル形状のタンブル流を生成させるためには、内燃機関50が備える吸気ポート52aが、タンブル形状のタンブル流の生成に適したタンブル比(図7を参照して説明したタンブル比)が得られるように構成されたものであることが好ましい。

【0091】

10

20

30

40

50

そこで、本実施形態では、リーンバーン運転領域において吸気可変動弁装置 5 4 を用いてエンジン回転速度に応じて吸気弁 2 6 のバルブリフト最大期間を変更することによって、通常のタンブル形状と タンブル形状との間でタンブル流の形状を変化させることとした。より具体的には、リーンバーン運転領域内の低回転側の領域（第 1 エンジン回転速度領域 R 1）では、バルブリフト最大期間の長いバルブリフト特性を選択し、高回転側の領域（第 2 エンジン回転速度領域 R 2）では、バルブリフト最大期間の短いバルブリフト特性を選択することとした。

【 0 0 9 2 】

（実施の形態 3 における特徴的な制御の具体例）

図 1 7 は、吸気可変動弁装置 5 4 によるバルブリフト最大期間の切り替えによって タンブル形状のタンブル流の生成と非生成とを制御することで点火時のプラグ近傍流速を制御する手法を説明するための図である。

【 0 0 9 3 】

図 1 7 に示すように、エンジン回転速度に関係なくバルブリフト最大期間の長いバルブリフト特性を継続的に使用した場合には、エンジン回転速度の増加に伴うガス流速の増加によって、リーンバーン運転領域における高回転側の領域においてプラグ近傍流速が着火最適範囲から外れてしまい、また、同様に、バルブリフト最大期間の短いバルブリフト特性を継続的に使用した場合には、低回転側の領域においてプラグ近傍流速が着火最適範囲から外れてしまう。

【 0 0 9 4 】

図 1 7 に示すケースでは、リーンバーン運転領域における低回転側の領域 R 1 では、バルブリフト最大期間の長いバルブリフト特性を用いることで、通常のタンブル形状のタンブル流を利用してプラグ近傍流速を着火最適範囲内に収めることができる。そこで、本実施形態では、バルブリフト最大期間の長いバルブリフト特性を継続的に使用したままでは着火最適範囲の上限に達してしまう第 4 エンジン回転速度 N E 4 よりも低いエンジン回転速度領域 R 1 においては、バルブリフト最大期間の長いバルブリフト特性が選択される。

【 0 0 9 5 】

一方、第 4 エンジン回転速度 N E 4 以上となる高エンジン回転速度領域 R 2 においてはバルブリフト最大期間の短いバルブリフト特性が選択される。これにより、タンブル形状のタンブル流の生成によって、図 1 7 (A) に示すように、タンブル流の形状が変更される第 4 エンジン回転速度 N E 4 付近において、プラグ近傍流速を低下させることができる。このように、エンジン回転速度に応じてタンブル流の形状を変化させることにより、リーンバーン運転領域における点火時のプラグ近傍流速を着火最適範囲内に保持できるようになる。尚、バルブリフト特性の切り替え時には、吸入空気量の変化を解消するためにスロットルバルブ 2 2 の開度が調整される。

【 0 0 9 6 】

また、図 1 7 に示す手法では、第 4 エンジン回転速度 N E 4 よりも高回転側の領域 R 2 においては、バルブリフト最大期間の短い単一のバルブリフト特性が用いられるようになっている。しかしながら、上記の手法に代え、吸気弁 2 6 を駆動するために電磁駆動式もしくはカムを電動モータで駆動する方式等の可変動弁装置を用いることによって、リーンバーン運転領域におけるバルブリフト最大期間をエンジン回転速度に応じて連続的に変更するようにしてもよい。すなわち、このような手法によって、リーンバーン運転時のプラグ近傍流速が所望の値となるようにプラグ近傍流速をより細かく制御してもよい。

【 0 0 9 7 】

図 1 8 は、本発明の実施の形態 3 における特徴的な制御を実現するために、E C U 4 0 が実行する制御ルーチンを示すフローチャートである。尚、図 1 8 において、実施の形態 1 における図 1 1 に示すステップと同一のステップについては、同一の符号を付してその説明を省略または簡略する。

【 0 0 9 8 】

図 1 8 に示すルーチンでは、E C U 4 0 は、上記ステップ 1 0 6 において点火エネルギー

10

20

30

40

50

ーを決定した後に、現在のエンジン回転速度NEが第4エンジン回転速度NE4よりも低いかなかを判定する(ステップ300)。第4エンジン回転速度NE4は、上述したように、リーンバーン運転領域においてエンジン回転速度に応じてタンブル流の形状を変更する際の閾値である。

【0099】

ステップ300の判定が成立する場合($NE < NE4$)には、ECU40は、バルブリフト最大期間の長いバルブリフト特性が得られるカムを流速制御値(目標バルブリフト特性)として選択するとともに、目標空燃比の下で要求トルクを実現するためのスロットル開度、燃料噴射量および点火時期のそれぞれの目標値を所定のマップ等に従って決定する(ステップ302)。一方、ステップ300の判定が不成立となる場合($NE \geq NE4$)には、ECU40は、バルブリフト最大期間の短いバルブリフト特性が得られるカムを流速制御値(目標バルブリフト特性)として選択するとともに、目標空燃比の下で要求トルクを実現するためのスロットル開度、燃料噴射量および点火時期のそれぞれの目標値を所定のマップ等に従って決定する(ステップ304)。次いで、ECU40は、決定された各種目標値に従って、各種アクチュエータ(スロットルバルブ22、燃料噴射弁30、点火プラグ32および吸気可変動弁装置54)を制御する(ステップ306)。

【0100】

以上説明した図18に示すルーチンによれば、バルブリフト最大期間を切り替え可能な吸気可変動弁装置54を利用して、エンジン回転速度に応じて通常のタンブル形状とタンブル形状との間でタンブル流の形状を変化させることによって、リーンバーン運転領域における点火時のプラグ近傍流速を、エンジン回転速度の高低に依らずに着火最適範囲内に保持することが可能となる。また、本実施形態におけるタンブル流の制御手法によれば、タンブル比自体の制御に頼らずに(すなわち、燃焼に重要な筒内ガスの乱れを弱めることなく)、タンブル流の渦中心の偏りの有無(タンブル形状)を制御することが可能となる。このため、リーン限界の拡大(燃費向上)を図りつつ、リーンバーン運転時における混合気の着火性を向上させることができる。

【0101】

尚、上述した実施の形態3においては、ECU40が上記ステップ300~306の処理を実行することにより前記第1~第4の発明における「タンブル流制御手段」が実現されている。

【0102】

実施の形態4.

次に、図19~図23を参照して、本発明の実施の形態4について説明する。

(システム構成の説明)

図19は、本発明の実施の形態4の内燃機関60のシステム構成を説明するための模式図である。尚、図19において、図1に示す構成要素と同一の要素については、同一の符号を付してその説明を省略または簡略する。

【0103】

本実施形態の内燃機関60は、TCV24を備えずに吸気通路62の吸気ポート62aの形状によって筒内にタンブル流を生成可能に構成されている点と吸気可変動弁装置64およびバルブマスク66を備えている点とを除き、上述した内燃機関10と同様に構成されているものとする。吸気可変動弁装置64は、吸気弁26のリフト量を連続的に変更可能な装置である。このような機能を有する可変動弁装置自体は周知のものであるので、ここではその具体的な構成の説明を省略する。

【0104】

図20は、図19に示すバルブマスク66の詳細な構成を説明するための図である。尚、図20は、シリンダの下方側から燃焼室14を見た図である。

バルブマスク66は、各気筒に対して2つ備えられた吸気ポート62aのそれぞれに対し、燃焼室14の中央側の部位(点火プラグ32の近傍部位)を除いて吸気ポート62aの出口を取り囲む凸部として、燃焼室14の壁面に形成されている。

【 0 1 0 5 】

(実施の形態 4 の制御の特徴部分)

図 2 1 は、図 2 0 中に示す A - A 線で吸気ポート 6 2 a 周りの構成を切断した断面図である。

上記のように形成されたバルブマスク 6 6 を備えていることにより、図 2 1 に示すように、吸気ポート 6 2 a から流入する吸気は、バルブマスク 6 6 が設けられた部位に向けては隙間が狭いために流れにくくなり、バルブマスク 6 6 が設けられていない燃焼室 1 4 の中央側の部位には流れ易くなる。このため、図 2 0 中に矢印で示すように、吸気ポート 6 2 a から流入する吸気を燃焼室 1 4 の中央側に集めることができる。このような傾向は、吸気弁 2 6 のリフト量が小さくなるほど、バルブマスク 6 6 の効果が高まるので顕著となる。したがって、吸気弁 2 6 のリフト量を小さくすることによって、吸気ポート 6 2 a から流入する吸気を燃焼室 1 4 の中央側により積極的に集められるようになる。このように、バルブマスク 6 6 と、吸気弁 2 6 のリフト量を変更可能な吸気可変動弁装置 6 4 との組み合わせは、筒内のガス流動に影響を及ぼす装置である。

10

【 0 1 0 6 】

上記のように構成された内燃機関 6 0 においては、吸気弁 2 6 のリフト量を大きくして吸気ポート 6 2 a から流入する吸気が燃焼室 1 4 の中心側に極力偏らないようにすることによって、圧縮行程後半において燃焼室 1 4 の容積中心に対するタンブル流の渦中心の偏りを抑制することができる。これにより、タンブル形状のタンブル流の生成が抑制され、通常のタンブル形状のタンブル流が生成されるようになるため、点火時のプラグ近傍流速を高くすることができる。一方、吸気弁 2 6 のリフト量を小さくして燃焼室 1 4 の中央側の部位に向かう吸気の流量の割合を増やすことによって、タンブル流の渦中心の偏りを生じさせることができる。これにより、タンブル形状のタンブル流が生成されるようになるため、通常のタンブル形状のタンブル流の生成時と比べて、プラグ近傍流速を低くすることができる。また、このように、本実施形態の構成によれば、バルブマスク 6 6 による吸気の指向性が吸気弁 2 6 のリフト量に応じて変化することを利用して燃焼室 1 4 の中央側の部位に向かう吸気の流量の割合を増減することで、タンブル形状のタンブル流の生成と非生成とを制御することが可能となる。尚、吸気弁 2 6 のリフト量を小さく制御した際に効果的にタンブル形状のタンブル流を生成させるためには、内燃機関 6 0 が備える吸気ポート 6 2 a が、タンブル形状のタンブル流の生成に適したタンブル比(図 7 を参照して説明したタンブル比)が得られるように構成されたものであることが好ましい。

20

30

【 0 1 0 7 】

そこで、本実施形態では、上記のように形成されたバルブマスク 6 6 を備えたうえで、リーンバーン運転領域において吸気可変動弁装置 6 4 を用いてエンジン回転速度に応じて吸気弁 2 6 のリフト量を変更することによって、通常のタンブル形状とタンブル形状との間でタンブル流の形状を変化させることとした。より具体的には、リーンバーン運転領域内の低回転側の領域(第 1 エンジン回転速度領域 R 1)では、吸気弁 2 6 のリフト量として第 1 リフト量(例えば、最大リフト量)を選択し、高回転側の領域(第 2 エンジン回転速度領域 R 2)では、吸気弁 2 6 のリフト量として第 1 リフト量よりも小さい第 2 リフト量を選択することとした。

40

【 0 1 0 8 】

(実施の形態 4 における特徴的な制御の具体例)

図 2 2 は、バルブマスク 6 6 と吸気可変動弁装置 6 4 による吸気弁 2 6 のリフト量の変更とによってタンブル形状のタンブル流の生成と非生成とを制御することで点火時のプラグ近傍流速を制御する手法を説明するための図である。

【 0 1 0 9 】

図 2 2 に示すように、エンジン回転速度に関係なく大きな第 1 リフト量を継続的に使用した場合には、エンジン回転速度の増加に伴うガス流速の増加によって、リーンバーン運転領域における高回転側の領域 R 2 においてプラグ近傍流速が着火最適範囲から外れてしまい、また、同様に、小さな第 2 リフト量を継続的に使用した場合には、低回転側の領域

50

R 1 においてプラグ近傍流速が着火最適範囲から外れてしまう。

【 0 1 1 0 】

図 2 2 に示すケースでは、リーンバーン運転領域における低回転側の領域 R 1 では、第 1 リフト量を用いることで、通常のタンブル形状のタンブル流を利用してプラグ近傍流速を着火最適範囲内に収めることができる。そこで、本実施形態では、大きな第 1 リフト量を継続的に使用したままでは着火最適範囲の上限に達してしまう第 5 エンジン回転速度 N E 5 よりも低いエンジン回転速度領域 R 1 においては、第 1 リフト量が選択される。

【 0 1 1 1 】

一方、第 5 エンジン回転速度 N E 5 以上となる高エンジン回転速度領域 R 2 においては小さな第 2 リフト量が選択される。これにより、タンブル形状のタンブル流の生成によって、図 2 2 (A) に示すように、タンブル流の形状が変更される第 5 エンジン回転速度 N E 5 付近において、プラグ近傍流速を低下させることができる。このように、エンジン回転速度に応じてタンブル流の形状を変化させることにより、リーンバーン運転領域における点火時のプラグ近傍流速を着火最適範囲内に保持できるようになる。尚、バルブリフト特性の切り替え時には、吸入空気量の変化を解消するためにスロットルバルブ 2 2 の開度が調整される。

【 0 1 1 2 】

また、図 2 2 に示す手法では、第 5 エンジン回転速度 N E 5 よりも高回転側の領域 R 2 においては、リフト量の小さな単一のバルブリフト特性が用いられるようになっている。しかしながら、上記の手法に代え、吸気弁 2 6 のリフト量をエンジン回転速度に応じて連続的に変更するようにしてもよい。すなわち、このような手法によって、リーンバーン運転時のプラグ近傍流速が所望の値となるようにプラグ近傍流速をより細かく制御してもよい。

【 0 1 1 3 】

図 2 3 は、本発明の実施の形態 4 における特徴的な制御を実現するために、E C U 4 0 が実行する制御ルーチンを示すフローチャートである。尚、図 2 3 において、実施の形態 3 における図 1 8 に示すステップと同一のステップについては、同一の符号を付してその説明を省略または簡略する。

【 0 1 1 4 】

図 2 3 に示すルーチンでは、E C U 4 0 は、上記ステップ 1 0 6 において点火エネルギーを決定した後に、現在のエンジン回転速度 N E が第 5 エンジン回転速度 N E 5 よりも低いか否かを判定する (ステップ 4 0 0)。第 5 エンジン回転速度 N E 5 は、上述したように、リーンバーン運転領域においてエンジン回転速度に応じてタンブル流の形状を変更する際の閾値である。

【 0 1 1 5 】

ステップ 4 0 0 の判定が成立する場合 (N E < N E 5) には、E C U 4 0 は、大きなリフト量が得られる第 1 リフト量を流速制御値 (目標リフト量) として選択するとともに、目標空燃比の下で要求トルクを実現するためのスロットル開度、燃料噴射量および点火時期のそれぞれの目標値を所定のマップ等に従って決定する (ステップ 4 0 2)。一方、ステップ 4 0 0 の判定が不成立となる場合 (N E ≥ N E 5) には、E C U 4 0 は、小さなリフト量が得られる第 2 リフト量を流速制御値 (目標リフト量) として選択するとともに、目標空燃比の下で要求トルクを実現するためのスロットル開度、燃料噴射量および点火時期のそれぞれの目標値を所定のマップ等に従って決定する (ステップ 4 0 4)。次いで、E C U 4 0 は、決定された各種目標値に従って、各種アクチュエータ (スロットルバルブ 2 2、燃料噴射弁 3 0、点火プラグ 3 2 および吸気可変動弁装置 6 4) を制御する (ステップ 4 0 6)。

【 0 1 1 6 】

以上説明した図 2 3 に示すルーチンによれば、バルブマスク 6 6 と吸気弁 2 6 のリフト量の制御との組み合わせを利用して、エンジン回転速度に応じて通常のタンブル形状とタンブル形状との間でタンブル流の形状を変化させることによって、リーンバーン運転領

10

20

30

40

50

域における点火時のプラグ近傍流速を、エンジン回転速度の高低に依らずに着火最適範囲内に保持することが可能となる。そして、本実施形態におけるタンブル流の制御手法によっても、タンブル比自体の制御に頼らずに（すなわち、燃焼に重要な筒内ガスの乱れを弱めることなく）、タンブル流の渦中心の偏りの有無（タンブル形状）を制御することが可能となる。このため、リーン限界の拡大（燃費向上）を図りつつ、リーンバーン運転時における混合気の着火性を向上させることができる。

【0117】

尚、上述した実施の形態4においては、ECU40が上記ステップ400～406の処理を実行することにより前記第1～第5の発明における「タンブル流制御手段」が実現されている。

【0118】

実施の形態5 .

次に、図24～図27を参照して、本発明の実施の形態5について説明する。

[システム構成の説明]

図24は、本発明の実施の形態5の内燃機関70が備えるバルブマスク72の詳細な構成を説明するための模式図である。

【0119】

本実施形態の内燃機関70は、バルブマスク66に代えてバルブマスク72を備えている点を除き、上述した内燃機関60と同様に構成されているものとする。本実施形態におけるバルブマスク72は、各気筒に対して2つ備えられた吸気ポート62aのそれぞれに対し、燃焼室14の中央側の部位（点火プラグ32の近傍部位）のみにおいて吸気ポート62aの出口を取り囲む凸部として、燃焼室14の壁面に形成されている。

【0120】

（実施の形態5の制御の特徴部分）

図25は、図24中に示すB-B線で吸気ポート62a周りの構成を切断した断面図である。

上記のように形成されたバルブマスク72を備えていることにより、図25に示すように、吸気ポート62aから流入する吸気は、バルブマスク72が設けられた燃焼室14の中央側の部位に向けては隙間が狭いために流れにくくなり、バルブマスク72が設けられていない残りの部位には流れ易くなる。このような傾向は、吸気弁26のリフト量が小さくなるほど、バルブマスク72の効果が高まるので顕著となる。換言すると、吸気弁26のリフト量を大きくすることによって、吸気弁26のリフト量が相対的に小さい場合と比べて、吸気ポート62aから流入する吸気のうちで燃焼室14の中央側に向かう吸気の流量の割合を増やせるようになる。

【0121】

上記のように構成された内燃機関70においては、吸気弁26のリフト量を小さくして吸気ポート62aから流入する吸気が燃焼室14の中心側に極力偏らないようにすることによって、圧縮行程後半において燃焼室14の容積中心に対するタンブル流の渦中心の偏りを抑制することができる。これにより、タンブル形状のタンブル流の生成が抑制され、通常のタンブル形状のタンブル流が生成されるようになるため、点火時のプラグ近傍流速を高くすることができる。一方、吸気弁26のリフト量を大きくして燃焼室14の中央側の部位に向かう吸気の流量の割合を増やすことによって、タンブル流の渦中心の偏りを生じさせることができる。これにより、タンブル形状のタンブル流が生成されるようになるため、通常のタンブル形状のタンブル流の生成時と比べて、プラグ近傍流速を低くすることができる。また、このように、本実施形態の構成によっても、バルブマスク72による吸気の指向性が吸気弁26のリフト量に応じて変化することを利用して燃焼室14の中央側の部位に向かう吸気の流量の割合を増減することで、タンブル形状のタンブル流の生成と非生成とを制御することが可能となる。尚、吸気弁26のリフト量を大きく制御した際に効果的にタンブル形状のタンブル流を生成させるためには、内燃機関70が備える吸気ポート62aが、タンブル形状のタンブル流の生成に適したタンブル比（図7

10

20

30

40

50

を参照して説明したタンブル比)が得られるように構成されたものであることが好ましい。

【0122】

そこで、本実施形態では、上記のように形成されたバルブマスク72を備えたうえで、リーンバーン運転領域において吸気可変動弁装置64を用いてエンジン回転速度に応じて吸気弁26のリフト量を変更することによって、通常のタンブル形状とタンブル形状との間でタンブル流の形状を変化させることとした。より具体的には、リーンバーン運転領域内の低回転側の領域(第1エンジン回転速度領域R1)では、吸気弁26のリフト量として第3リフト量を選択し、高回転側の領域(第2エンジン回転速度領域R2)では、吸気弁26のリフト量として第3リフト量よりも大きな第4リフト量(例えば、最大リフト量)を選択することとした。

10

【0123】

(実施の形態5における特徴的な制御の具体例)

図26は、バルブマスク72と吸気可変動弁装置64による吸気弁26のリフト量の変更とによってタンブル形状のタンブル流の生成と非生成とを制御することで点火時のプラグ近傍流速を制御する手法を説明するための図である。

【0124】

図26に示すように、エンジン回転速度に関係なく小さな第3リフト量を継続的に使用した場合には、エンジン回転速度の増加に伴うガス流速の増加によって、リーンバーン運転領域における高回転側の領域R2においてプラグ近傍流速が着火最適範囲から外れてしまい、また、同様に、大きな第4リフト量を継続的に使用した場合には、低回転側の領域においてプラグ近傍流速が着火最適範囲から外れてしまう。

20

【0125】

図26に示すケースでは、リーンバーン運転領域における低回転側の領域R1では、第3リフト量を用いることで、通常のタンブル形状のタンブル流を利用してプラグ近傍流速を着火最適範囲内に収めることができる。そこで、本実施形態では、小さな第3リフト量を継続的に使用したままでは着火最適範囲の上限に達してしまう第6エンジン回転速度NE6よりも低いエンジン回転速度領域R1においては、第3リフト量が選択される。

【0126】

一方、第6エンジン回転速度NE6以上となる高エンジン回転速度領域R2においては大きな第4リフト量が選択される。これにより、タンブル形状のタンブル流の生成によって、図26(A)に示すように、タンブル流の形状が変更される第6エンジン回転速度NE6付近において、プラグ近傍流速を低下させることができる。このように、エンジン回転速度に応じてタンブル流の形状を変化させることにより、リーンバーン運転領域における点火時のプラグ近傍流速を着火最適範囲内に保持できるようになる。尚、バルブリフト特性の切り替え時には、吸入空気量の変化を解消するためにスロットルバルブ22の開度が調整される。

30

【0127】

また、図26に示す手法では、第6エンジン回転速度NE6よりも高回転側の領域R2においては、リフト量の大きな単一のバルブリフト特性が用いられるようになっている。しかしながら、上記の手法に代え、吸気弁26のリフト量をエンジン回転速度に応じて連続的に変更するようにしてもよい。すなわち、このような手法によって、リーンバーン運転時のプラグ近傍流速が所望の値となるようにプラグ近傍流速をより細かく制御してもよい。

40

【0128】

図27は、本発明の実施の形態5における特徴的な制御を実現するために、ECU40が実行する制御ルーチンを示すフローチャートである。尚、図27において、実施の形態4における図23に示すステップと同一のステップについては、同一の符号を付してその説明を省略または簡略する。

【0129】

50

図27に示すルーチンでは、ECU40は、上記ステップ106において点火エネルギーを決定した後に、現在のエンジン回転速度NEが第6エンジン回転速度NE6よりも低いか否かを判定する(ステップ500)。第6エンジン回転速度NE6は、上述したように、リーンバーン運転領域においてエンジン回転速度に応じてタンブル流の形状を変更する際の閾値である。

【0130】

ステップ500の判定が成立する場合($NE < NE6$)には、ECU40は、小さなリフト量が得られる第3リフト量を流速制御値(目標リフト量)として選択するとともに、目標空燃比の下で要求トルクを実現するためのスロットル開度、燃料噴射量および点火時期のそれぞれの目標値を所定のマップ等に従って決定する(ステップ502)。一方、ステップ500の判定が不成立となる場合($NE \geq NE6$)には、ECU40は、大きなリフト量が得られる第4リフト量を流速制御値(目標リフト量)として選択するとともに、目標空燃比の下で要求トルクを実現するためのスロットル開度、燃料噴射量および点火時期のそれぞれの目標値を所定のマップ等に従って決定する(ステップ504)。

【0131】

以上説明した図27に示すルーチンによっても、バルブマスク72と吸気弁26のリフト量の制御との組み合わせを利用して、エンジン回転速度に応じて通常のタンブル形状とタンブル形状との間でタンブル流の形状を変化させることによって、リーンバーン運転領域における点火時のプラグ近傍流速を、エンジン回転速度の高低に依らずに着火最適範囲内に保持することが可能となる。そして、本実施形態におけるタンブル流の制御手法によっても、タンブル比自体の制御に頼らずに(すなわち、燃焼に重要な筒内ガスの乱れを弱めることなく)、タンブル流の渦中心の偏りの有無(タンブル形状)を制御することが可能となる。このため、リーン限界の拡大(燃費向上)を図りつつ、リーンバーン運転における混合気の着火性を向上させることができる。

【0132】

尚、上述した実施の形態5においては、ECU40が上記500~504および406の処理を実行することにより前記第1~第4および第6の発明における「タンブル流制御手段」が実現されている。

【0133】

ところで、上述した実施の形態1~5においては、エンジン回転速度に応じて通常のタンブル形状とタンブル形状との間でタンブル流の形状を変化させることによって、リーンバーン運転領域における点火時のプラグ近傍流速を着火最適範囲内に収める制御について説明を行った。しかしながら、本発明におけるタンブル流の制御は、リーンバーン運転領域における点火時のプラグ近傍流速が着火最適範囲内に収まるように、エンジン回転速度に応じて通常のタンブル形状とタンブル形状との間でタンブル流の形状を変化させるものに限定されない。すなわち、本発明におけるタンブル流の制御は、プラグ近傍流速を着火最適範囲内に積極的に制御するという構成を伴わずに、単に、エンジン回転速度に応じて通常のタンブル形状とタンブル形状との間でタンブル流の形状を変化させるものであってもよい。より具体的には、各実施形態において既述したように、あるエンジン回転速度領域内においてエンジン回転速度に応じて通常のタンブル形状とタンブル形状との間でタンブル流の形状を変化させることは、このようなタンブル形状の変更がなされない場合と比べ、当該エンジン回転速度領域内における点火時のプラグ近傍流速の変化を抑制させる効果をもたらす。したがって、エンジン回転速度に応じて通常のタンブル形状とタンブル形状との間でタンブル流の形状を変化させるという構成を純粹に備えることによって、混合気の燃料濃度が低い条件で行われるリーンバーン運転における混合気の着火性向上に資する内燃機関の制御装置を提供できるようになるといえる。

【0134】

また、上述した実施の形態1~5が前提としているように、タンブル形状のタンブル流の生成時における点火プラグ32の周囲でのガス流れ方向の反転タイミングがリーンバーン運転時の点火時期の設定範囲よりも後になるケースにおいては、タンブル流の渦中心

10

20

30

40

50

の偏り度合いを高めて、タンブル形状の流れを強化することは、点火時のプラグ近傍流速の低下をもたらす。これに対し、上記ガス流れ方向の反転タイミングがリーンバーン運転時の点火時期の設定範囲よりも前になるケースでは、タンブル形状の流れの強化は、点火時のプラグ近傍流速を高めるように作用する（ただし、ガスの流れ方向は上記のケースと逆になる）。本発明においてエンジン回転速度に応じて行われる通常のタンブル形状（第1タンブル形状）とタンブル形状（第2タンブル形状）との間でのタンブル流の形状の変更は、後者のケースを前提とする内燃機関に対して適用してもよい。

【0135】

また、上述した実施の形態1～5においては、1気筒当たり2つの吸気弁26を備えた内燃機関10等を例に挙げて説明を行ったが、本発明は、点火プラグを間に介するように吸気弁と排気弁とが配置されているものであれば、1気筒当たりの吸気弁の数が2つ以外の構成の内燃機関に対して適用してもよい。

10

【符号の説明】

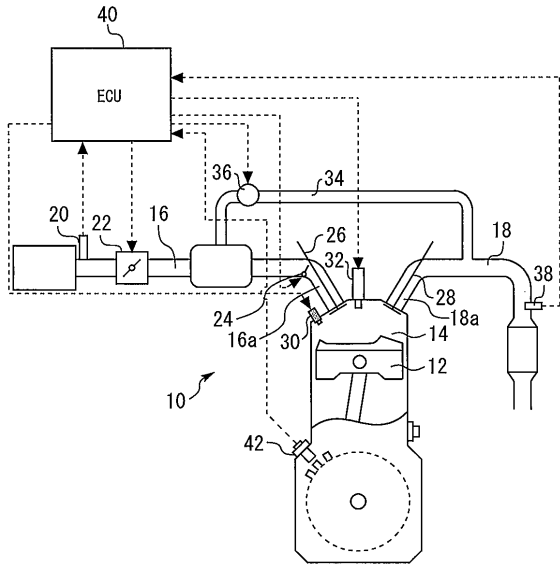
【0136】

- 10, 50, 60, 70 内燃機関
- 12 ピストン
- 14 燃焼室
- 16, 52, 62 吸気通路
- 16a, 52a, 62a 吸気ポート
- 18 排気通路
- 18a 排気ポート
- 20 エアフローメータ
- 22 スロットルバルブ
- 24 タンブルコントロールバルブ(TCV)
- 26 吸気弁
- 28 排気弁
- 30 燃料噴射弁
- 32 点火プラグ
- 34 EGR通路
- 36 EGRバルブ
- 38 空燃比センサ
- 40 ECU(Electronic Control Unit)
- 42 クランク角センサ
- 54, 64 吸気可変動弁装置
- 66, 72 バルブマスク

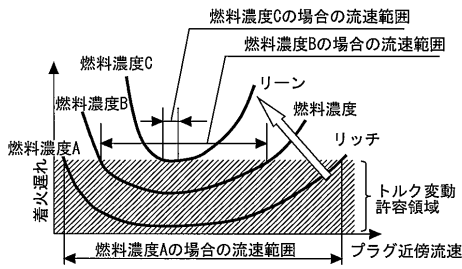
20

30

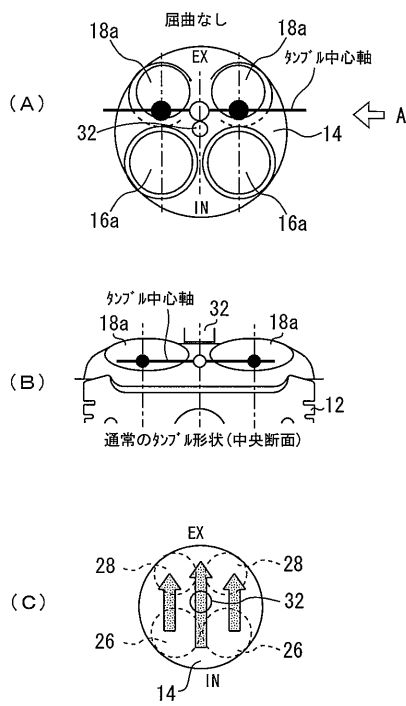
【図1】



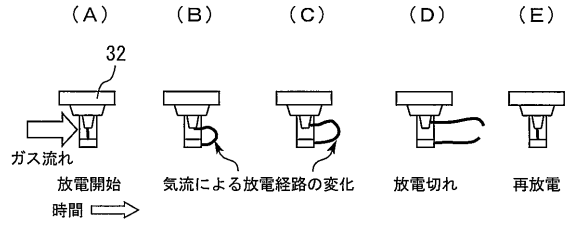
【図2】



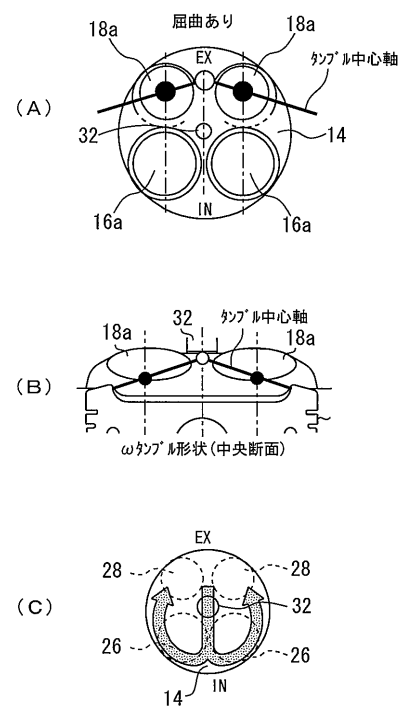
【図4】



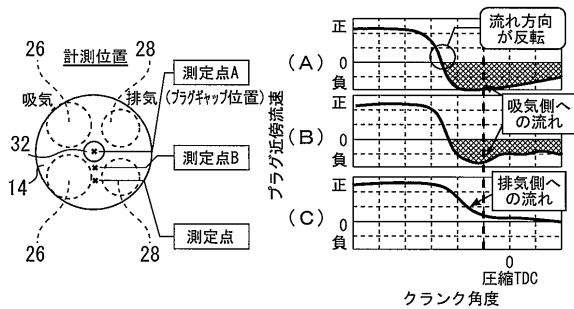
【図3】



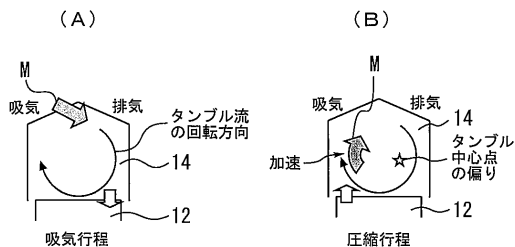
【図5】



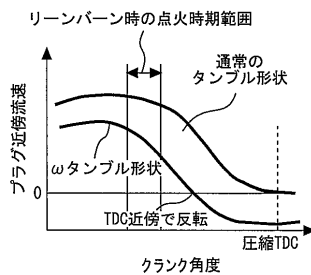
【図6】



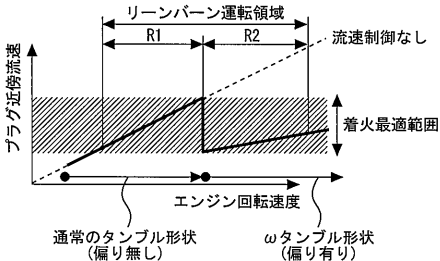
【図7】



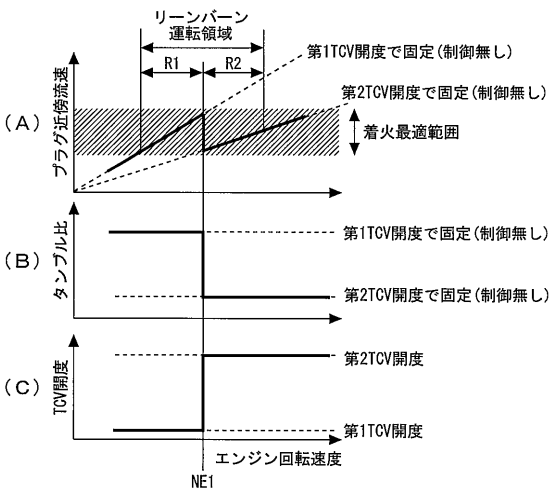
【図8】



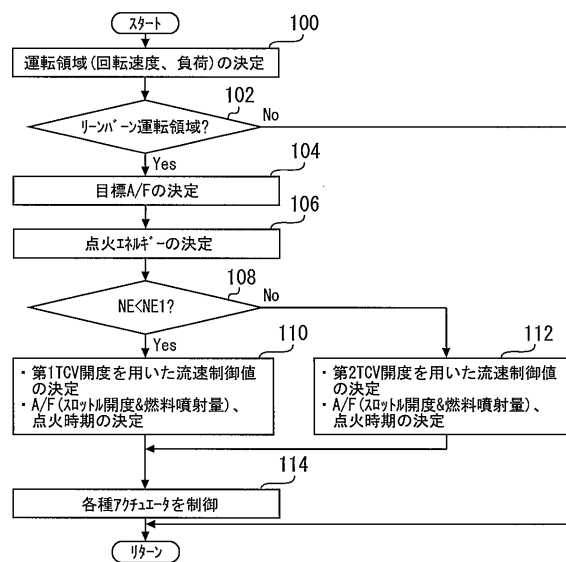
【図9】



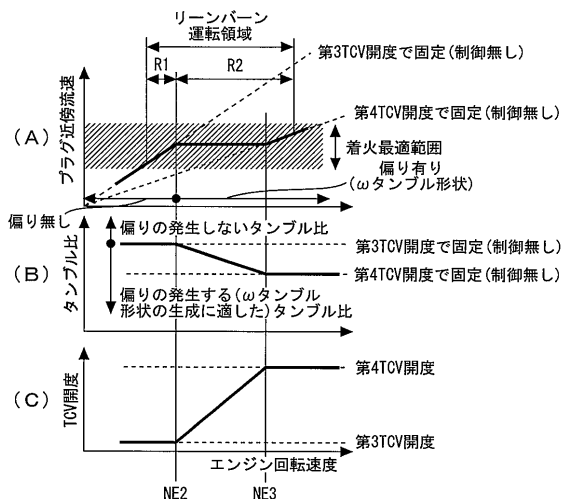
【図10】



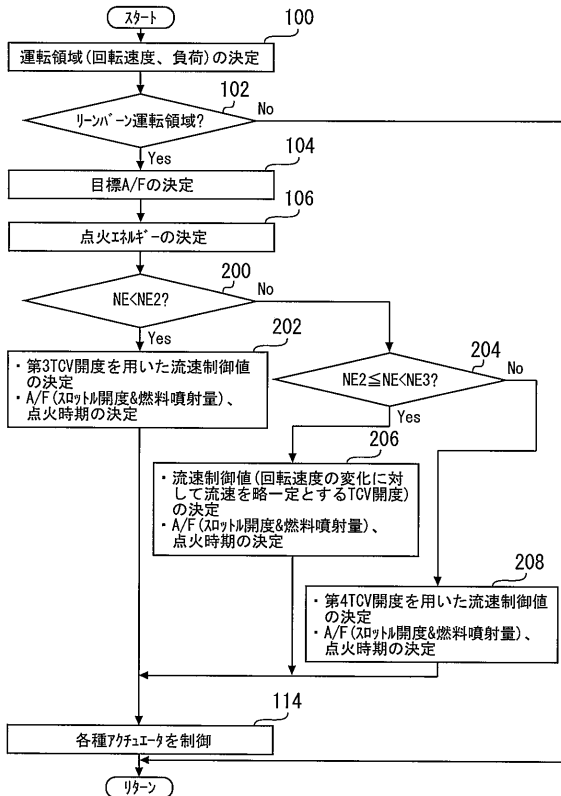
【図11】



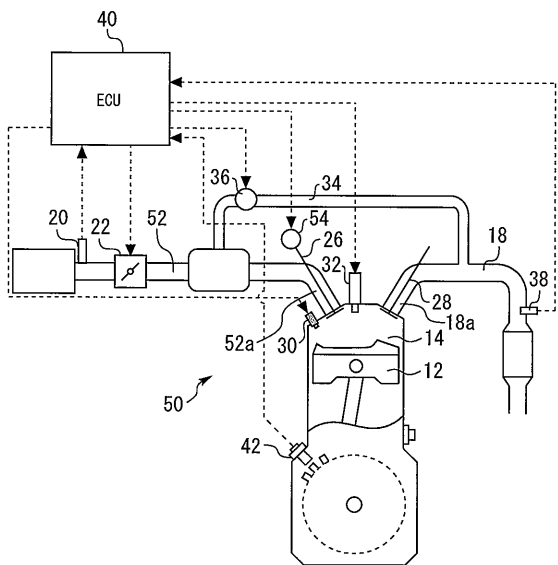
【図12】



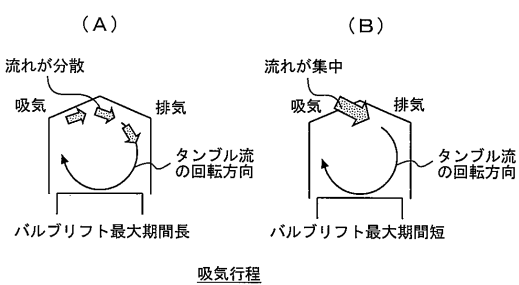
【図13】



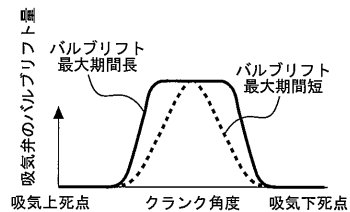
【図14】



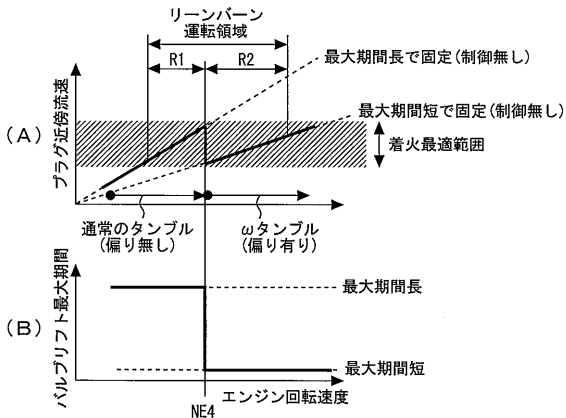
【図16】



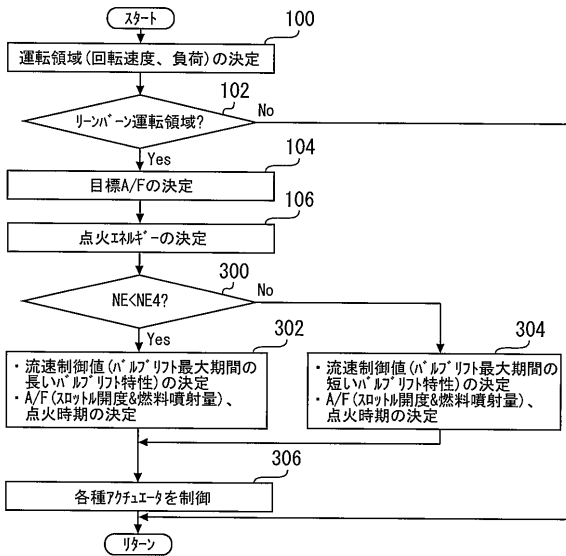
【図15】



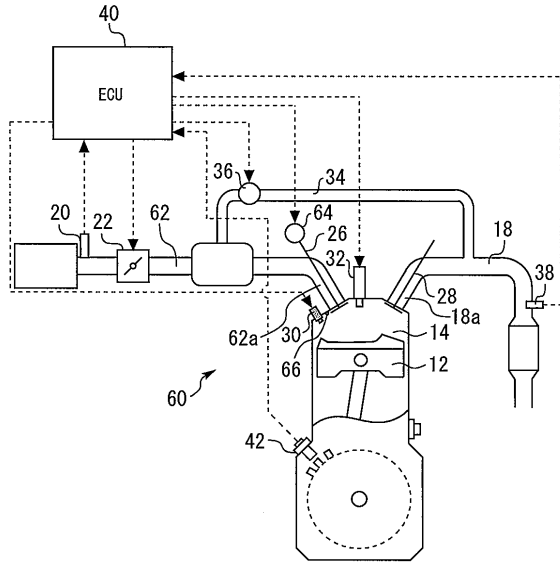
【図17】



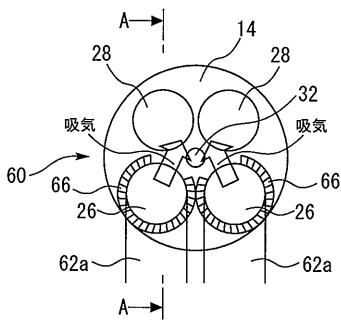
【図18】



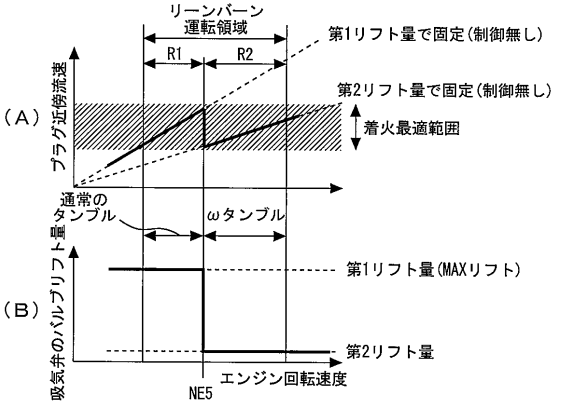
【図19】



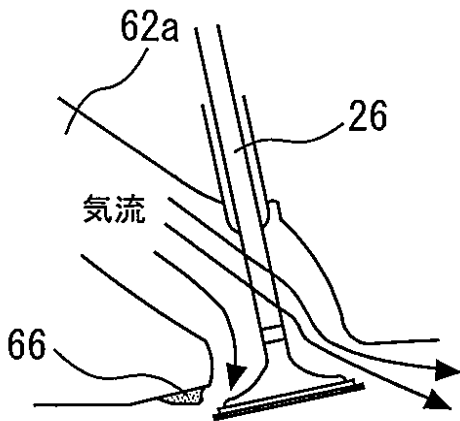
【図20】



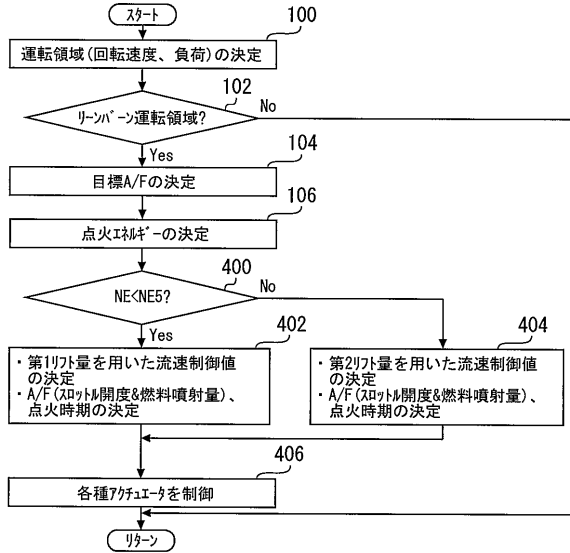
【図22】



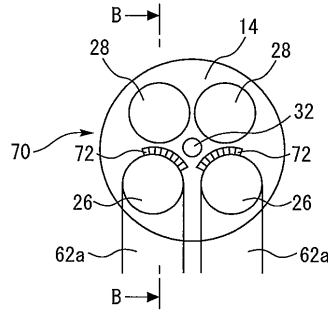
【図21】



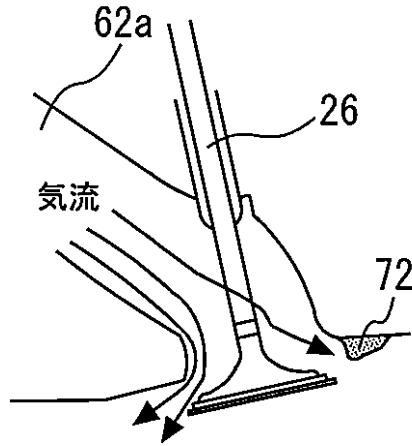
【図23】



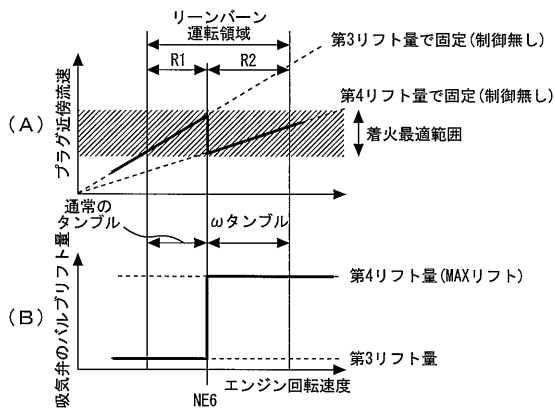
【図24】



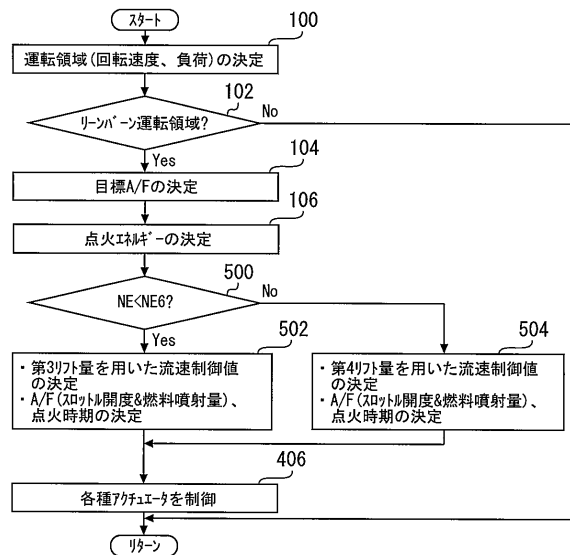
【図25】



【図26】



【図27】



フロントページの続き

(51)Int.Cl. F I
F 0 2 D 13/02 J

(72)発明者 津田 里志
愛知県豊田市トヨタ町1番地 トヨタ自動車株式会社内

審査官 木村 麻乃

(56)参考文献 特開2011-236859(JP,A)
特開2001-003755(JP,A)
特開2004-176604(JP,A)
特開平10-252477(JP,A)
特開2001-342836(JP,A)
米国特許出願公開第2002/0078919(US,A1)
特開2011-132833(JP,A)
欧州特許出願公開第02474714(EP,A1)
特開平09-264149(JP,A)
特開2012-021501(JP,A)
特開2005-171815(JP,A)
特開2008-303798(JP,A)
特開2012-246896(JP,A)
特開2009-041397(JP,A)
特開2015-090133(JP,A)
特開平11-050853(JP,A)

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