

(19) 世界知的所有権機関
国際事務局(43) 国際公開日
2014 年 11 月 13 日 (3.11.2014)

(10) 国際公開番号

WO 2014/181520 A1

- (51) 国際特許分類 :
F02D 41/06 (2006.01) F02D 41/02 (2006.01)
F02D 29/02 (2006.01) F02D 45/00 (2006.01)
- (21) 国際出願番号 : PCT/JP20 14/002321
- (22) 国際出願日 : 2014 年 4 月 24 日 (24.04.2014)
- (25) 国際出願の言語 : 日本語
- (26) 国際公開の言語 : 日本語
- (30) 優先権データ :
特願 2013-098362 2013 年 5 月 8 日 (08.05.2013) JP
- (71) 出願人 : マツダ株式会社 (MAZDA MOTOR CORPORATION) [JP/JP]; 〒7308670 広島県安芸郡府中町新地 3 番 1 号 Hiroshima (JP).
- (72) 発明者 : 中本 仁寿 (NAKAMOTO, Yoshihisa). 前川 耕太 (MAEKAWA, Kota).
- (74) 代理人 : 特許業務法人 有古特許事務所 (PATENT CORPORATE BODY ARCO PATENT OFFICE); 〒650003 1 兵庫県神戸市中央区東町 1 2 3 番地の 1 貿易ビル 3 階 Hyogo (JP).

(81) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の国内保護が可能): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, KE, KG, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, ML, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.

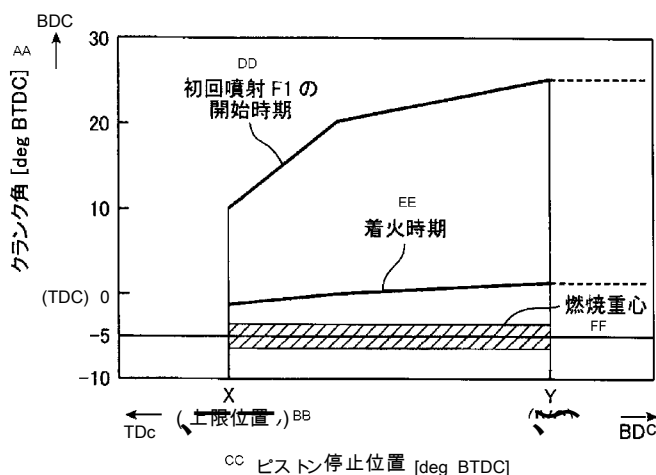
(84) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の広域保護が可能): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, ML, NA, RW, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシア (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), ヨーロッパ (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

添付公開書類 :

- 国際調査報告 (条約第 21 条(3))

(54) Title: DEVICE FOR CONTROLLING STARTUP OF PREMIXING COMPRESSION-IGNITION ENGINE

(54) 発明の名称 : 予混合圧縮着火式エンジンの始動制御装置



(57) Abstract: According to the present invention, when a designated restart condition is satisfied after an engine automatically stops, a determination is made as to whether or not a piston (5) of a stop time compression stroke cylinder (2C) that has stopped in the compression stroke is in a specified range (Rx) to the bottom dead center side of a designated upper limit position (X), and when the piston is within the specified range (Rx), a one-compression startup is executed for injecting the initial fuel from an injector (15) into the stop time compression stroke cylinder (2C) to cause auto-ignition. This one-compression startup is set so that the closer the piston stopping position of the stop time compression stroke cylinder (2C) is to bottom dead center within the specified range (Rx), the sooner the injection start period of initial fuel into the cylinder (2C).

(57) 要約 : エンジンの自動停止後、所定の再始動条件が成立すると、圧縮行程で停止した停止時圧縮行程気筒 (2C) のピストン (5) が所定の上限位置 x よりも下死点側に設定された特定範囲 (Rx) にあるかが判定され、特定範囲 (Rx) にある場合には、インジェクタ (15) から停止時圧縮行程気筒 (2C) に最初の燃料を噴

射して自着火させる 1 圧縮始動が実行される。この 1 圧縮始動においては、停止時圧縮行程気筒 (2C) のピストン停止位置が特定範囲 (Rx) の中でも下死点側にあるほど、当該気筒 (2C) への最初の燃料の噴射開始時期が早く設定される。

明 細 書

発明の名称 : 予混合圧縮着火式エンジンの始動制御装置

技術分野

[0001] 本発明は、圧縮上死点よりも前に気筒内に噴射された燃料を空気と混合しつつピストンの圧縮により自着火させる予混合圧縮着火燃焼が可能なエンジンに設けられた始動制御装置に関する。

背景技術

[0002] 従来、ガソリンエンジンの分野では、点火プラグの火花点火により強制的に混合気を着火させる燃焼形態（火花点火燃焼）が一般的であったが、近年、このような火花点火燃焼に代えて、いわゆる予混合圧縮着火燃焼をガソリンエンジンに適用する研究が進められている。予混合圧縮自己着火燃焼とは、圧縮上死点よりも前に気筒内に噴射された燃料が空気と混合されてできた混合気を、ピストンの圧縮による高温環境下で自主的に（火花点火によらず）着火させるというものである。このような予混合圧縮着火燃焼は、気筒内で混合気が同時多発的に燃焼する形態であるため、火花点火による燃焼に比べて燃焼期間が短く、より高い熱効率が得られると言われている。なお、以下では、予混合圧縮着火燃焼（Homogeneous-Charge Compression Ignition Combustion）のことを、HCCI燃焼と略称することがある。

[0003] 上記のような予混合圧縮着火式エンジンにおいて、より一層の燃費性能の改善を図るには、エンジンを自動的に停止または再始動させる、いわゆるアイドルストップ制御を実行することが有効である。

[0004] 上記のようなアイドルストップ制御に関する技術として、例えば下記特許文献1のものが知られている。この特許文献1には、軽油を圧縮着火により燃焼（拡散燃焼）させる多気筒ディーゼルエンジン、またはガソリンを圧縮着火により燃焼（予混合燃焼）させる多気筒ガソリンエンジンにおいて、特定の気筒のピストン停止位置に基づいて、エンジンを再始動させる際の制御の態様を切り換えることが開示されている。

[0005] 具体的に、特許文献 1 では、エンジンが自動停止されると、その時点で圧縮行程にある停止時圧縮行程気筒のピストンの停止位置が調べられる。その後、エンジンの再始動条件が成立すると、上記停止時圧縮行程気筒のピストン停止位置が、予め定められた所定位置よりも下死点側にあるか否かが判定され、下死点側にある場合には、上記停止時圧縮行程気筒に最初の燃料が噴射され、エンジン全体として 1 回目の圧縮上死点を迎える 1 圧縮目から燃焼が再開されることにより、すなわち、全気筒（特許文献 1 では 4 気筒）において最初に圧縮上死点を迎える気筒から燃焼が再開されることにより、エンジンが始動される（以下、これを「1 圧縮始動」という）。

[0006] 一方、上記停止時圧縮行程のピストン停止位置が上記所定位置よりも上死点側にある場合には、吸気行程で停止していた気筒（停止時吸気行程気筒）が圧縮行程に移行してから当該気筒に最初の燃料が噴射され、エンジン全体として 2 回目の圧縮上死点を迎える 2 圧縮目から燃焼が再開されることにより、すなわち、全気筒において 2 回目の圧縮上死点を迎える気筒から燃焼が再開されることにより、エンジンが始動される（以下、これを「2 圧縮始動」という）。

先行技術文献

特許文献

[0007] 特許文献 1 :特開 2 0 1 2 - 0 1 2 9 9 3 号公報

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0008] 上記特許文献 1 の技術によると、停止時圧縮行程気筒のピストンが下死点寄りにあるときには、1 圧縮目から燃料を噴射する 1 圧縮始動によって迅速にエンジンを再始動させることができる一方、ピストンが上死点寄りにある場合には、1 圧縮目ではなく 2 圧縮目から燃料を噴射する 2 圧縮始動により、始動の迅速性は多少犠牲にしながらも、燃料の失火を防止して確実なエンジンの再始動を図ることができる。

[0009] ところで、エンジンをできるだけ迅速に再始動したいという要求からすれば、特に燃焼が行われる最初の気筒（1 圧縮始動のときは停止時圧縮行程気筒、2 圧縮始動のときは停止時吸気行程気筒）において、ピストンが上死点をわずかに過ぎたあたりで燃焼重心（気筒内の燃料の50%が燃焼し終わる時期）を迎えるように、燃焼を制御することが望ましい。これにより、燃焼の膨張力によりピストンに加わる押し下げ力が効率よくピストンを付勢し、ピストンスピードが十分に上昇するからである。

[001 0] しかしながら、エンジンが自動停止した後の再始動時に、燃焼のタイミングを十分な精度で制御することは容易ではない。特に、ガソリンを空気と混合した後に圧縮着火させる予混合圧縮着火式エンジンでは、気筒内にガソリンが噴射されてから着火に至るまでの着火遅れ時間が気筒内の環境によって種々変動するので、混合気の着火時期を同じようなタイミングに揃えるには、何らかの工夫が必要である。しかしながら、上記特許文献1には、このような点について特に言及されておらず、改善の余地があった。

[001 1] 本発明は、上記のような事情に鑑みてなされたものであり、エンジンが自動停止した後の再始動時に、燃焼による膨張エネルギーを効率よくピストンに伝達し、もって始動の迅速性を向上させることが可能な予混合圧縮着火式エンジンの始動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

[001 2] 上記課題を解決するためのものとして、本発明は、複数の気筒と、各気筒に往復動可能に設けられたピストンと、各気筒に燃料を噴射するインジェクタとを備えるとともに、圧縮上死点よりも前に上記インジェクタから気筒内に噴射された燃料を空気と混合しつつ上記ピストンの圧縮により自着火させる予混合圧縮着火燃焼が可能なエンジンに設けられた始動制御装置であって、所定の自動停止条件が成立したときに上記エンジンを自動停止させる自動停止制御部と、上記自動停止に伴い圧縮行程で停止した停止時圧縮行程気筒のピストンが予め定められた上限位置よりも下死点側に設定された特定範囲にあるか否かを判定する停止位置判定部と、上記停止時圧縮行程気筒のピス

トンが上記特定範囲で停止したと判定され、かつ所定の再始動条件が成立した場合に、上記インジェクタから上記停止時圧縮行程気筒に最初の燃料を噴射して自着火させ、エンジン全体として1回目の圧縮行程を迎えたときから燃焼を再開させる1圧縮始動を実行する再始動制御部とを備え、上記再始動制御部は、上記停止時圧縮行程気筒のピストン停止位置が上記特定範囲の中でも下死点側にあるほど、上記停止時圧縮行程気筒への最初の燃料の噴射開始時期を早くする、ことを特徴とするものである。

[001 3] 本発明によれば、停止時圧縮行程気筒に最初の燃料を噴射して自着火させる1圧縮始動時に、当該気筒のピストン停止位置が下死点側にあるほど、つまりピストンによる圧縮代（ピストン停止位置から圧縮上死点までのストローク量）が大きいほど、上記最初の燃料噴射の開始時期が早められ、その結果、噴射された燃料の気化潜熱によって気筒内の温度上昇が鈍り始める時期も早められる。このように、気筒内の温度が上昇し易い条件であるほど温度上昇を抑制する方向に噴射開始時期が調節されるため、停止時圧縮行程気筒のピストン停止位置が1圧縮始動が可能な範囲（特定範囲）内で変動したとしても、気筒内の温度が混合気の自着火に必要な温度（着火開始温度）まで上昇する時期を、同一のクランク角の近傍（例えば圧縮上死点の近傍）に揃えることができる。これにより、例えば燃焼による膨張エネルギーが最も効率よくピストンに伝達されるような時期に常に混合気を燃焼させることができるので、ピストンを勢いよく押し下げてエンジンに大きな回転力を付与することができ、エンジンを再始動する際の迅速性を効果的に向上させることができる。

[0014] 本発明において、好ましくは、上記再始動制御部は、1圧縮始動時における燃料の噴射開始時期のうち少なくとも停止時圧縮行程気筒に噴射する最初の燃料の噴射開始時期を、当該気筒での圧縮着火燃焼の燃焼重心が圧縮上死点後 $5 \pm 5^\circ \text{CA}$ に収まるような時期に設定する。

[001 5] ここで、燃焼重心とは、気筒内に噴射された燃料の50%が燃焼し終わる時期のことをいう。この時期（燃焼重心）が圧縮上死点後 $5 \pm 5^\circ \text{CA}$ に収

まっていれば、燃焼による膨張エネルギーが高い効率でピストンの押し下げ力に変換され、ピストンスピードを十分に増大させることができる。

[001 6] 本発明において、好ましくは、上記再始動制御部は、1圧縮始動時における燃料の噴射量のうち少なくとも停止時圧縮行程気筒に噴射する最初の燃料の噴射量を、当該気筒内の混合気の当量比が1になるような値に設定する。

[001 7] この構成によれば、停止時圧縮行程気筒での最初の燃焼が理論空燃比下での高効率な燃焼となるので、当該最初の燃焼によって大きな回転力をエンジンに付与することができ、始動の迅速性をより高めることができる。

[001 8] 本発明において、好ましくは、上記停止時圧縮行程気筒のピストン停止位置が上記特定範囲内で同一の位置にあるとき、上記再始動制御部は、1圧縮始動時における燃料の噴射開始時期のうち少なくとも停止時圧縮行程気筒に噴射する最初の燃料の噴射開始時期を、エンジンの冷却水の温度が高いほど早くする。

[001 9] エンジンの冷却水温が高ければ、気筒内で圧縮される空気の初期温度が高くなるので、圧縮上死点付近における筒内温度をほぼ同一の温度まで上昇させるには、燃料の噴射開始時期を早めて、その燃料噴射に基づきより早い時期から筒内温度の上昇スピードを抑える必要がある。このような点を考慮して、上記構成では、エンジンの冷却水温が高いほど噴射開始時期を早めているので、冷却水温の値が多少変動しても、常に適正なタイミングで混合気を燃焼させることができ、燃焼による膨張エネルギーをピストンに効率よく伝達することができる。

[0020] 本発明において、上記停止時圧縮行程気筒のピストンが上記上限位置よりも上死点側で停止したと判定された場合、上記再始動制御部は、上記自動停止に伴い吸気行程で停止した停止時吸気行程気筒が圧縮行程に移行してから当該気筒に最初の燃料を噴射して自着火させ、エンジン全体として2回目の圧縮行程を迎えたときから燃焼を再開させる2圧縮始動を実行することが好ましい。

[0021] この構成によれば、停止時圧縮行程気筒のピストンが比較的上死点寄りに

あるために十分な圧縮代が確保できない状況において、停止時圧縮行程気筒ではなく、その次に圧縮行程を迎える停止時吸気行程気筒に最初の燃料を噴射して自着火させるので、失火を招くことなく確実にエンジンを再始動させることができる。

発明の効果

- [0022] 以上説明したように、本発明の予混合圧縮着火式エンジンの始動制御装置によれば、エンジンが自動停止した後の再始動時に、燃焼による膨張エネルギーを効率よくピストンに伝達することができるので、始動の迅速性を向上させることができる。

図面の簡単な説明

- [0023] [図1] 本発明の一実施形態にかかる始動制御装置が適用された予混合圧縮着火式エンジンの全体構成を示す図である。
- [図2] 上記エンジンの自動停止・再始動制御の具体的手順を示すフローチャートである。
- [図3] 上記エンジンの自動停止制御が終了した後の各気筒の状態を例示する図である。
- [図4] 上記エンジンを1圧縮始動する際に行われる燃料噴射の順序を示す図である。
- [図5] 1圧縮始動における最初の燃料噴射の開始時期を、停止時圧縮行程気筒のピストン停止位置との関係で示すグラフである。
- [図6] 1圧縮始動時に行われる各回の燃料噴射の開始時期と、各燃料噴射の実行時のエンジン回転速度とを示すグラフである。
- [図7] 1圧縮始動時に行われる各回の燃料噴射に基づく当量比と、各燃料噴射の実行時のエンジン回転速度とを示すグラフである。
- [図8] 停止時圧縮行程気筒のクランク角と筒内温度との関係を、当該気筒のピストン停止位置が異なる2種類の場合について示したグラフである。
- [図9A] 1圧縮始動時に停止時圧縮行程気筒で起きる最初の燃焼の開始時期（混合気の着火時期）を、燃料の噴射量と噴射開始時期との関係で示したグラ

フであり、停止時圧縮行程気筒のピストン停止位置が圧縮上死点前 110° CA のときを示している。

[図9B] 1 圧縮始動時に停止時圧縮行程気筒で起きる最初の燃焼の開始時期（混合気の着火時期）を、燃料の噴射量と噴射開始時期との関係で示したグラフであり、停止時圧縮行程気筒のピストン停止位置が圧縮上死点前 80° CA のときを示している。

[図10] 1 圧縮始動時の最初の燃料噴射の開始時期を、エンジンの冷却水温によって可変的に設定する例を説明するためのグラフである。

発明を実施するための形態

[0024] (1) エンジンの全体構成

図1は、本発明の一実施形態にかかる始動制御装置が適用された予混合圧縮着火式エンジンの全体構成を示す図である。本図に示されるエンジンは、走行用の動力源として車両に搭載される4サイクルのガソリンエンジンである。具体的に、このエンジンは、紙面に直交する方向に列状に並ぶ複数の気筒2A～2D（後述する図3も参照）を有する直列4気筒型のエンジン本体1と、エンジン本体1に空気を導入するための吸気通路28と、エンジン本体1で生成された排気ガスを排出するための排気通路29とを有している。

[0025] エンジン本体1は、上記複数の気筒2A～2Dが内部に形成されたシリンダブロック3と、シリンダブロック3の上部に設けられたシリンダヘッド4と、各気筒2A～2Dに往復摺動可能に挿入されたピストン5とを有している。

[0026] ピストン5の上方には燃焼室6が形成されており、この燃焼室6には、後述するインジェクタ15からの噴射によって燃料が供給される。そして、噴射された燃料が燃焼室6で燃焼し、その燃焼による膨張力で押し下げられたピストン5が上下方向に往復運動する。なお、当実施形態のエンジンはガソリンエンジンであるため、燃料としてはガソリンが用いられる。ただし、燃料の全てがガソリンである必要はなく、例えばアルコール等の副成分が燃料に含まれていてもよい。

- [0027] ピス トン 5 は、エンジン本体 1 の出力軸であるクランク軸 7 と図外のコネクティングロッドを介して連結されており、上記ピス トン 5 の往復運動に応じてクランク軸 7 が中心軸回りに回転するようになっている。
- [0028] 各気筒 2 A ～ 2 D の幾何学的圧縮比、つまり、ピス トン 5 が下死点にあるときの燃焼室 6 の容積とピス トン 5 が上死点にあるときの燃焼室 6 の容積との比は、ガソリンエンジンとしてはかなり高めの値である 18 以上 50 以下に設定されている。これは、ガソリンを自着火により燃焼させる H C C し燃焼（予混合圧縮着火燃焼）を実現するために、燃焼室 6 を大幅に高温・高圧化する必要があるからである。
- [0029] ここで、図示のような 4 サイクルかつ直列 4 気筒型のエンジンでは、各気筒 2 A ～ 2 D に設けられたピス トン 5 が、クランク角で 180° （ 180° C A）の位相差をもって上下運動する。このため、エンジンの通常運転時、各気筒 2 A ～ 2 D での燃焼（そのための燃料噴射）のタイミングは、基本的に 180° C A ずつ位相をずらしたタイミングに設定される。具体的に、紙面手前側から奥側に向けて気筒が 2 A，2 B，2 C，2 D の順に並んでいるものとし、これらの気筒番号をそれぞれ 1 番、2 番、3 番、4 番とすると、1 番気筒 2 A → 3 番気筒 2 C → 4 番気筒 2 D → 2 番気筒 2 B の順に燃焼が行われる（後述する図 4 も参照）。このため、例えば 1 番気筒 2 A が膨張行程であれば、3 番気筒 2 C、4 番気筒 2 D、2 番気筒 2 B は、それぞれ、圧縮行程、吸気行程、排気行程となる。
- [0030] シリンダヘッド 4 には、吸気通路 28 から供給される空気を各気筒 2 A ～ 2 D の燃焼室 6 に導入するための吸気ポート 9 と、各気筒 2 A ～ 2 D の燃焼室 6 で生成された排気ガスを排気通路 29 に導出するための排気ポート 10 と、吸気ポート 9 の燃焼室 6 側の開口を開閉する吸気弁 11 と、排気ポート 10 の燃焼室 6 側の開口を開閉する排気弁 12 とが設けられている。
- [0031] 吸気弁 11 および排気弁 12 は、それぞれ、シリンダヘッド 4 に配設された一対のカム軸等を含む動弁機構 13，14 により、クランク軸 7 の回転に連動して開閉駆動される。

- [0032] シリンダヘッド4には、燃焼室6に向けて燃料（ガソリン）を噴射するインジェクタ15と、インジェクタ15から噴射された燃料と空気との混合気に対し火花放電による点火エネルギーを供給する点火プラグ16とが、各気筒2A～2Dにつきそれぞれ1組ずつ設けられている。ただし、当実施形態のエンジンは、混合気をピストン5の圧縮により自着火させるHCCI燃焼を基本とするため、点火プラグ16は、HCCI燃焼が不可能かまたは困難な状況（例えばエンジン冷却水の温度がかなり低いとき）でのみ作動し、HCCI燃焼の実行時には基本的に点火プラグ16の作動は休止される。
- [0033] インジェクタ15は、ピストン5の上面を臨むような姿勢でシリンダヘッド4に設けられている。各気筒2A～2Dのインジェクタ15にはそれぞれ燃料供給管17が接続されており、各燃料供給管17を通じて供給される燃料（ガソリン）が、インジェクタ15の先端部に設けられた複数の噴孔（図示省略）から噴射されるようになっている。
- [0034] より具体的に、燃料供給管17の上流側には、エンジン本体1により駆動されるプランジャー式のポンプ等からなるサプライポンプ18が設けられているとともに、このサプライポンプ18と燃料供給管17との間には、全気筒2A～2Dに共通の蓄圧用のコモンレール（図示省略）が設けられている。そして、このコモンレール内で蓄圧された燃料が各気筒2A～2Dのインジェクタ15に供給されることにより、各インジェクタ15からは、20MPa以上の高い圧力で燃料が噴射可能とされている。
- [0035] クランク軸7には、ベルト等を介してオルタネータ32が連結されている。このオルタネータ32は、図外のフィールドコイルへの印加電流（フィールド電流）を制御して発電量を調節するレギュレータ回路を内蔵しており、車両の電気負荷やバッテリーの残容量等から定められる目標発電量に基づいてフィールド電流を調節しつつ、クランク軸7から駆動力を得て発電を行う。
- [0036] シリンダブロック3には、エンジンを始動するためのスタータモータ34が設けられている。このスタータモータ34は、モータ本体34aと、モータ本体34aにより回転駆動されるピニオンギア34bとを有している。ピ

ニオンギア 34b は、クランク軸 7 の一端部に連結されたリングギア 35 と離接可能に噛合している。そして、スタータモータ 34 を用いてエンジンを始動する際には、ピニオンギア 34b が所定の噛合位置に移動してリングギア 35 と噛合し、ピニオンギア 34b の回転力がリングギア 35 に伝達されることにより、クランク軸 7 が回転駆動される。

[0037] 吸気通路 28 は、1本の共通通路部 28c と、共通通路部 28c の下流端部に接続された所定容積のサージタンク 28b と、サージタンク 28b から下流側に延びて各気筒 2A〜2D の吸気ポート 9 とそれぞれ連通する複数本の独立通路部 28a (図 1 にはそのうちの 1 本のみを示す) とを有している。

[0038] 吸気通路 28 の共通通路部 28c には、その内部の流通断面積を可変とするためのスロットル弁 30 が設けられている。スロットル弁 30 は、運転者により踏み込み操作されるアクセルペダル 36 の開度と非連動で操作可能なように、電動式とされている。すなわち、スロットル弁 30 は、共通通路部 28c の内部に設けられたバタフライ式の弁本体と、この弁本体を開閉駆動する電動式のアクチュエータとを有している。

[0039] 排気通路 29 は、その詳しい図示を省略するが、各気筒 2A〜2D の排気ポート 10 と連通する複数本の独立通路部と、独立通路部の各下流端部が集合した排気集合部と、排気集合部から下流側に延びる 1 本の共通通路部とを有している。

[0040] 排気通路 29 (より詳しくはその共通通路部) には触媒コンバータ 31 が設けられている。触媒コンバータ 31 は、例えば三元触媒等からなる触媒を内蔵しており、排気通路 29 を通過する排気ガス中に含まれる有害成分 (HC、CO、NO_x) を浄化する機能を有している。

[0041] (2) 制御系

次に、エンジンの制御系について説明する。当実施形態のエンジンは、その各部が ECU (エンジン制御ユニット) 50 によって統括的に制御される。ECU 50 は、周知のとおり、CPU、ROM、RAM 等を含むマイクロ

プロセッサからなるものである。

[0042] エンジンもしくは車両には、その各部の状態量を検出するための複数のセンサが設けられており、各センサからの情報がECU50に入力されるようになっている。

[0043] 例えば、シリンダブロック3やシリンダヘッド4の内部には、冷却水が流通する図外のウォータジャケットが設けられており、このウォータジャケット内の冷却水の温度を検出する水温センサSN1が、シリンダブロック3に設けられている。

[0044] また、シリンダブロック3には、クランク軸7の回転角度および回転速度を検出するクランク角センサSN2が設けられている。このクランク角センサSN2は、クランク軸7と一体に回転するクランクプレート25の回転に応じてパルス信号を出力するものであり、このパルス信号に基づいて、クランク軸7の回転角度（クランク角）および回転速度（エンジン回転速度）が検出されるようになっている。

[0045] シリンダヘッド4には、気筒判別情報を出力するためのカム角センサSN3が設けられている。すなわち、カム角センサSN3は、カムシャフトと一体に回転するシグナルプレートの歯の通過に応じてパルス信号を出力するものであり、この信号と、クランク角センサSN2からのパルス信号とに基づいて、どの気筒が何行程にあるのかが判別されるようになっている。

[0046] 吸気通路28のサージタンク28bには、エンジン本体1の各気筒2A〜2Dに吸入される空気の量（吸入空気量）を検出するエアフローセンサSN4が設けられている。

[0047] また、車両には、その走行速度（車速）を検出する車速センサSN5と、アクセルペダル36の開度（アクセル開度）を検出するアクセル開度センサSN6と、ブレーキペダル37のON／OFF（ブレーキの有無）を検出するブレーキセンサSN7と、バッテリー（図示省略）の残容量を検出するバッテリーセンサSN8と、車室内の温度を検出する室温センサSN9とが設けられている。

[0048] ECU50は、これらのセンサSN1～SN9と電氣的に接続されており、それぞれのセンサから入力される信号に基づいて、上述した各種情報（エンジンの冷却水温、クランク角、回転速度……など）を取得する。

[0049] また、ECU50は、上記各センサSN1～SN9からの入力信号に基づいて種々の判定や演算等を実行しつつ、エンジンの各部を制御する。すなわち、ECU50は、インジェクタ15、点火プラグ16、スロットル弁30、オルタネータ32、およびスタータモータ34と電氣的に接続されており、上記演算の結果等に基づいて、これらの機器にそれぞれ駆動用の制御信号を出力する。

[0050] ECU50のより具体的な機能について説明する。ECU50は、いわゆるアイドリングストップ制御に関わる特有の機能的要素として、自動停止制御部51、停止位置判定部52、および再始動制御部53を有している。

[0051] 自動停止制御部51は、エンジンの運転中に、予め定められたエンジンの自動停止条件が成立したか否かを判定し、成立した場合に、エンジンを自動停止させる制御を実行するものである。

[0052] 停止位置判定部52は、エンジンが自動停止したときに、圧縮行程で停止した気筒のピストン5の位置を特定し、この位置が特定の範囲（後述する特定範囲Rx）にあるか否かを判定するものである。

[0053] 再始動制御部53は、エンジンが自動停止した後、予め定められた再始動条件が成立したか否かを判定し、成立した場合に、エンジンを自動的に再始動させる制御を実行するものである。

[0054] （3）自動停止・再始動制御

次に、エンジンの自動停止・再始動制御を司るECU50の具体的な制御手順について、図2のフローチャートを用いて説明する。

[0055] 図2のフローチャートに示す処理がスタートすると、ECU50は、各種センサ値を読み込む処理を実行する（ステップS1）。具体的には、水温センサSN1、クランク角センサSN2、カム角センサSN3、エアフローセンサSN4、車速センサSN5、アクセル開度センサSN6、ブレーキセン

サ S N 7、バッテリーセンサ S N 8、および室温センサ S N 9 からそれぞれの検出信号を読み込み、これらの信号に基づいて、エンジンの冷却水温、クランク角、回転速度、気筒判別情報、吸入空気量、車速、アクセル開度、ブレーキの有無、バッテリーの残容量、車室内温度等の各種情報を取得する。

[0056] 次いで、E C U 5 0 の自動停止制御部 5 1 は、上記ステップ S 1 で取得された情報に基づいて、エンジンの自動停止条件が成立しているか否かを判定する処理を実行する（ステップ S 2）。例えば、車両が停止状態にあること、アクセルペダル 3 6 の開度がゼロであること（アクセル O F F）、ブレーキペダル 3 7 が踏み込まれていること（ブレーキ O N）、エンジンの冷却水温が所定値以上であること（つまり暖機がある程度進んでいること）、バッテリーの残容量が所定値以上であること、エアコンの負荷（車室内温度とエアコンの設定温度との差）が比較的少ないこと、等の複数の要件が全て揃ったときに、自動停止条件が成立したと判定する。

[0057] 上記ステップ S 2 で Y E S と判定されて自動停止条件が成立したことが確認された場合、自動停止制御部 5 1 は、スロットル弁 3 0 の開度を、アイドル運転時に設定される通常の開度から、所定の低开度（例えば 0 %）まで低下させる処理を実行する（ステップ S 3）。

[0058] 次いで、自動停止制御部 5 1 は、インジェクタ 1 5 からの燃料の噴射を停止する燃料カットの処理を実行する（ステップ S 4）。すなわち、各気筒 2 A ~ 2 D のインジェクタ 1 5 から噴射すべき燃料の量である目標噴射量をゼロに設定し、全てのインジェクタ 1 5 からの燃料噴射を停止することにより、燃料カットを実現する。

[0059] 上記燃料カットの後、エンジンは一時的に惰性で回転するが、最終的には完全停止に至る。そのことを確認するため、自動停止制御部 5 1 は、エンジンの回転速度が 0 r p m であるか否かを判定する処理を実行する（ステップ S 5）。そして、ここで Y E S となってエンジンが完全停止していることが確認されると、自動停止制御部 5 1 は、スロットル弁 3 0 の開度を所定の高开度（例えば 8 0 %）まで増大させる処理を実行する（ステップ S 6）。

[0060] 以上のような自動停止制御が終了した後のエンジンの各気筒 2 A ～ 2 D の状態を、図 3 に例示する。この図 3 の例では、1 番気筒 2 A が膨張行程で停止し、2 番気筒 2 B が排気行程で停止し、3 番気筒 2 C が圧縮行程で停止し、4 番気筒 2 D が吸気行程で停止している。なお、以下では、自動停止制御によって膨張行程、排気行程、圧縮行程、及び吸気行程で停止した気筒のことを、それぞれ「停止時膨張行程気筒」、「停止時排気行程気筒」、「停止時圧縮行程気筒」、及び「停止時吸気行程気筒」ということがある。例えば、膨張行程で停止した気筒 2 A のことを「停止時膨張行程気筒 2 A」といい、排気行程で停止した気筒 2 B のことを「停止時排気行程気筒 2 B」といい、圧縮行程で停止した気筒 2 C のことを「停止時圧縮行程気筒 2 C」といい、吸気行程で停止した停止した気筒 2 D のことを「停止時吸気行程気筒 2 D」という。ただし、図 3 のような状態でエンジンが停止するのはあくまで一例に過ぎず、各気筒 2 A ～ 2 D がどの行程で停止するかはその都度変わり得る。ただしその場合でも、以下に説明する制御（エンジンが自動停止した後に行われる制御）の中身は、気筒番号が異なる以外は全て同じである。

[0061] 上記のようにしてエンジンが完全停止すると、ECU 50 の再始動制御部 53 は、各種センサ値に基づいて、エンジンの再始動条件が成立しているかを判定する処理を実行する（ステップ S 7）。例えば、ブレーキペダル 37 がリリースされたこと、アクセルペダル 36 が踏み込まれたこと、エンジンの冷却水温が所定値未満になったこと、バッテリーの残容量の低下量が許容値を超えたこと、エンジンの停止時間（自動停止後の経過時間）が上限時間を越えたこと、エアコン作動の必要性が生じたこと（つまり車室内温度とエアコンの設定温度との差が許容値を超えたこと）等の要件の少なくとも 1 つが成立したときに、再始動条件が成立したと判定する。

[0062] 上記ステップ S 7 で YES と判定されて再始動条件が成立したことが確認された場合、ECU 50 の停止位置判定部 52 は、上記エンジンの自動停止に伴い圧縮行程で停止した気筒（図 3 の停止時圧縮行程気筒 2 C）のピストン停止位置を、クランク角センサ S N 2 およびカム角センサ S N 3 に基づき

特定し、その特定したピストン停止位置が、図3に示す上限位置Xよりも下死点側に設定された特定範囲 R_x （より詳しくは上限位置Xから下死点までの間であって上限位置Xを含む範囲）にあるか否かを判定する処理を実行する（ステップS8）。なお、上限位置Xは、エンジンの形状（排気量、ボア/ストローク比等）や暖機の進行度合い等によって異なり得るが、例えば上死点前（BTDC ;Before Top Dead Center） $90 \sim 75^\circ$ CAの間のいずれかの位置に設定することができる。

[0063] 上記ステップS8でYESと判定されて停止時圧縮行程気筒2Cのピストン停止位置が特定範囲 R_x にあることが確認された場合、ECU50の再始動制御部53は、停止時圧縮行程気筒2Cが圧縮上死点を迎える1圧縮目から混合気の燃焼を開始する1圧縮始動によりエンジンを再始動させる処理を実行する（ステップS9）。すなわち、再始動制御部53は、スタータモータ34を駆動してクランク軸7に回転力を付与しつつ、それによって停止時圧縮行程気筒2Cのピストン5が上昇している途中で（圧縮上死点に至る前に）、当該気筒2Cに対してインジェクタ15から燃料を噴射させる。そして、気筒2Cに噴射した燃料と空気との混合気をピストン5の圧縮に伴い自着火させることにより、エンジン全体として1回目の上死点を迎える1圧縮目からHCCI燃焼を行わせ、エンジンを再始動させる。

[0064] 一方、上記ステップS8でNOと判定された場合、つまり、停止時圧縮行程気筒2Cのピストン停止位置が上記特定範囲 R_x を外れている（上限位置Xよりも上死点側にある）ことが確認された場合、再始動制御部53は、停止時圧縮行程気筒2Cが圧縮上死点を迎える1圧縮目からではなく、吸気行程で停止していた停止時吸気行程気筒2Dが圧縮上死点を迎える2圧縮目から混合気の燃焼を開始する2圧縮始動によりエンジンを再始動させる処理を実行する（ステップS10）。すなわち、停止時吸気行程気筒2Dのピストン5が一旦下降してから上昇に転じて圧縮上死点に至るまで、スタータモータ34の駆動力のみによってクランク軸7を回転させるとともに、停止時吸気行程気筒2Dのピストン5が上昇している途中で（圧縮上死点に至る前に

）、当該気筒 2 D に対しインジェクタ 15 から燃料を噴射させる。そして、気筒 2 D に噴射した燃料と空気との混合気をピストン 5 の圧縮に伴い自着火させることにより、エンジン全体として 2 回目の上死点を迎える 2 圧縮目から H C C し燃焼を行わせ、エンジンを再始動させる。

[0065] なお、上記のフローチャート (図 2) では説明を省略したが、エンジンが自動停止したときに圧縮行程にある停止時圧縮行程気筒 (図 3 では気筒 2 C) のピストン停止位置が下死点寄りの特定範囲 R_x に高い確率で収まるように、エンジンの自動停止制御中 (エンジンが完全停止する前) に所定の制御を付加することが考えられる。2 圧縮始動の場合、停止時吸気行程気筒 2 D のピストン 5 が圧縮上死点付近に到達する 2 圧縮目までは燃焼を再開することができず、エンジンの再始動に要する時間、つまり、スタータモータ 3 4 による駆動が開始されてからエンジンが完爆 (全気筒 2 A ~ 2 D で 1 回ずつ燃焼が行われた状態) に至るまでに要する時間が、1 圧縮始動のときに比べて若干長くなってしまう。そこで、できるだけ高い確率で 1 圧縮始動ができるように、ピストン停止位置を上記特定範囲 R_x に収めるために何らかの制御を実行することが望ましい。

[0066] 例えば、全気筒 2 A ~ 2 D におけるエンジン停止直前の最後の上死点を最終 T D C とすると、この最終 T D C またはその n 回前の上死点通過時のエンジン回転速度がどのような範囲にあれば停止時圧縮行程気筒のピストン停止位置が特定範囲 R_x 内に収まるかということは、実験等により予め知ることができる。そこで、最終 T D C またはその n 回前の上死点通過時のエンジン回転速度が予め定められた所定の速度範囲 (つまりピストン停止位置を特定範囲 R_x に収めるために必要な速度範囲) に収まっているか否かを判定し、当該速度範囲から外れている場合には、オルタネータ 3 2 のフィールド電流を増減させることにより、エンジン本体 1 に加わる回転抵抗を調節することが考えられる。あるいは、最終 T D C の 1 つ前の上死点通過時にスロットル弁 3 0 を開くことにより、その時点から吸気行程を迎える気筒 (言い換えれば最終的に圧縮行程で停止する停止時圧縮行程気筒) への吸入空気量を増大

させ、空気の圧縮に伴い生じる圧縮反力を増大させることにより、停止時圧縮行程気筒のピストン停止位置を下死点寄りにもっていくようにしてもよい。これらの少なくとも一方の対策を施せば、停止時圧縮行程気筒のピストン停止位置を半ば強制的に特定範囲 R_x に収めることができるので、1圧縮始動による迅速なエンジン再始動をかなり高い確率で実現することができる。

[0067] (4) 1圧縮始動時の噴射制御

次に、1圧縮始動によるエンジン再始動時（1圧縮始動時）に行われる燃料噴射の具体的態様について説明する。

[0068] 図4は、1圧縮始動時における各気筒2A〜2Dの行程の移り変わりと、各気筒2A〜2Dに対し実行される燃料噴射を図示したものである。本図に示すように、1圧縮始動のときは、停止時圧縮行程気筒2Cに対し最初の燃料噴射が実行され（F1）、その後は、停止時吸気行程気筒2D、停止時排気行程気筒2B、停止時膨張行程気筒2Aの順に燃料噴射が実行される（F2, F3, F4）。

[0069] 図5は、1圧縮始動の際に停止時圧縮行程気筒2Cに対し行われる最初の燃料噴射F1の開始時期を、停止時圧縮行程気筒2Cのピストン停止位置との関係で示すグラフである。この図5に示すように、最初の燃料噴射F1の開始時期は、停止時圧縮行程気筒2Cのピストン停止位置が上限位置X（つまり1圧縮始動が許容される限界の停止位置）から下死点（BDC）側に離れるほど、早い時期に設定される。具体的に、図5の例では、ピストン停止位置が上限位置Xであるときの燃料噴射F1の開始時期が上死点前（BTD）約 10° CAに設定されるのに対し、ピストン停止位置が上限位置Xより所定のクランク角だけ下死点側に離れた所定位置Yであるときの燃料噴射F1の開始時期は、BTD約 25° CAに設定される。また、ピストン停止位置が上限位置Xから所定位置Yまでの間においては、燃料噴射F1の開始時期がBTD 25° CAから 10° CAの間の時期に設定されるが、その時期は、総じてピストン停止位置が所定位置Yに近づくほど早く設定される。なお、所定位置Yは、吸気弁11の閉時期（IVC ; Intake Valve Clos

e Timing) に対応するクランク角、つまり実質的に気筒内の空気が圧縮され始めるクランク角である。このため、ピストン停止位置が上記所定位置 Y よりさらに下死点側であるときの燃料噴射 F 1 の開始時期は、破線の波形で示すように、所定位置 Y のときとほぼ同一の時期に維持される。

[0070] 図 6 は、1 圧縮始動時に各気筒 2 A ～ 2 D に対し燃料が噴射されるときエンジン回転速度と、各燃料噴射 (F 1 ～ F 4) の開始時期との関係を示すグラフである。本図に示すように、1 圧縮始動時の最初の燃料噴射である停止時圧縮行程気筒 2 C への燃料噴射 F 1 が実行されるとき、エンジン回転速度は 100 rpm を若干超える程度 (例えば 120 rpm 程度) の速度になっており、そのときの燃料噴射 F 1 の開始時期は、既に図 5 でも説明したとおり、B T D C 約 25 ～ 10° C A のいずれかに設定される。図 6 には、噴射開始時期が B T D C 約 25° C A に設定される場合を実線の波形で表し、B T D C 約 10° C A に設定される場合を破線の波形で表している。一方、上記燃料噴射 F 1 が実行されると、噴射された燃料が停止時圧縮行程気筒 2 C で自着火により燃焼 (H C C し燃焼) してピストン 5 が押し下げられることにより、エンジンの回転速度が上昇し始める。このため、最初の燃料噴射 F 1 に次ぐ 2 回目の燃料噴射 (停止時吸気行程気筒 2 D への燃料噴射) F 2 が行われるときのエンジン回転速度は、最初の燃料噴射 F 1 のときよりも上昇しており、以下同様に、3 回目の燃料噴射 (停止時排気行程気筒 2 B への燃料噴射) F 3、4 回目の燃料噴射 (停止時膨張行程気筒 2 A への燃料噴射) F 4 へと進むにつれて、エンジン回転速度はさらに上昇していく。そして、このようなエンジン回転速度の上昇と相関するように、各回の燃料噴射の開始時期は、圧縮上死点からより遠ざかった早めの時期へとずらされていく。つまり、2 回目の燃料噴射 F 2 の開始時期は最初の燃料噴射 F 1 の開始時期よりも早く、3 回目の燃料噴射 F 3 の開始時期は 2 回目の燃料噴射 F 2 の開始時期よりも早く、4 回目の燃料噴射 F 4 の開始時期は 3 回目の燃料噴射 F 3 の開始時期よりも早くされる。なお、4 回目の燃料噴射 F 4 が行われてエンジンが完爆 (全気筒 2 A ～ 2 D で 1 回ずつ燃焼が行われた状態) に至つ

た後は、アクセル開度に基づく通常の制御に移行するので、5回目以降の燃料噴射についてはその図示を省略している。

[0071] 図7は、1圧縮始動時に各気筒2A〜2Dに対し燃料が噴射されときのエンジン回転速度と、各燃料噴射(F1〜F4)に基づき気筒内に形成される混合気の当量比 ϕ との関係を示すグラフである。なお、当量比 ϕ とは、混合気の理論空燃比を実空燃比で割った値のことであり、理論空燃比に相当する量(気筒内の空気に対して過不足ない量)の燃料が噴射されたときに当量比 $\phi = 1$ となり、それより少ない量の燃料が噴射されたときに当量比 $\phi < 1$ となる。本図に示すように、当量比 ϕ は、燃料噴射の回数が進むほど(言い換えればエンジン回転速度が上昇するほど)、徐々に小さくされる。すなわち、1圧縮始動時の最初の燃料噴射である停止時圧縮行程気筒2Cへの燃料噴射F1では、当量比 ϕ が1になるように燃料の噴射量が設定されるのに対し、2回目、3回目、4回目の燃料噴射(気筒2D、2B、2Aへの燃料噴射)F2, F3, F4では、当量比 ϕ が1より小さくなるように燃料の噴射量が調節される。しかも、2回目、3回目、4回目へと進むにつれて、当量比 ϕ は、1未満の範囲で徐々に小さくされる。図7の例では、1回目の燃料噴射F1のときの当量比 ϕ が1であるのに対し、2回目、3回目、4回目の燃料噴射F2, F3, F4のときの当量比 ϕ は、それぞれ0.9, 0.8, 0.7とされる。

[0072] (5) 作用等

以上説明したように、当実施形態では、インジェクタ15から気筒2A〜2D内に噴射された燃料を空気と混合しつつピストン5の圧縮により自着火させるHCCI燃焼(予混合圧縮着火燃焼)が可能で、しかもアイドルストップ機能を備えたエンジンにおいて、次のような特徴的な構成を採用した。

[0073] エンジンの自動停止後、所定の再始動条件が成立すると、圧縮行程で停止した停止時圧縮行程気筒2Cのピストン5が所定の上限位置Xよりも下死点側に設定された特定範囲 R_x (図3)にあるか否かが判定され、特定範囲 R_x にある場合には、インジェクタ15から停止時圧縮行程気筒2Cに最初の

燃料を噴射して自着火させる 1 圧縮始動が実行される。この 1 圧縮始動においては、停止時圧縮行程気筒 2 C のピストン停止位置が特定範囲 R_x の中でも下死点側にあるほど、当該気筒 2 C への最初の燃料噴射 F 1 の開始時期が早く設定される (図 5 参照)。このような構成によれば、以下で説明するとおり、エンジンの再始動時に、燃焼による膨張エネルギーを効率よくピストン 5 に伝達し、もって始動の迅速性を向上させることができるという利点がある。

[0074] すなわち、上記実施形態では、停止時圧縮行程気筒 2 C に最初の燃料を噴射して自着火させる 1 圧縮始動時に、当該気筒 2 C のピストン停止位置が下死点側にあるほど、つまりピストン 5 による圧縮代 (ピストン停止位置から圧縮上死点までのストローク量) が大きいほど、上記最初の燃料噴射 F 1 の開始時期が早められ、その結果、噴射された燃料の気化潜熱によって気筒 2 C 内の温度上昇が鈍り始める時期も早められる。このように、気筒 2 C 内の温度が上昇し易い条件であるほど温度上昇を抑制する方向に噴射開始時期が調節されるため、停止時圧縮行程気筒 2 C のピストン停止位置が 1 圧縮始動が可能な範囲 (特定範囲 R_x) 内で変動したとしても、気筒 2 C 内の温度が混合気の自着火に必要な温度 (着火開始温度) まで上昇する時期を、同一のクランク角の近傍 (例えば圧縮上死点の近傍) に揃えることができる。これにより、例えば燃焼による膨張エネルギーが最も効率よくピストン 5 に伝達されるような時期に常に混合気を燃焼させることができるので、ピストン 5 を勢いよく押し下げてエンジンに大きな回転力を付与することができ、エンジンを再始動する際の迅速性を効果的に向上させることができる。

[0075] 図 8 は、1 圧縮始動時に停止時圧縮行程気筒 2 C のピストン 5 が停止位置から圧縮上死点まで上昇したときに当該気筒 2 C 内の温度 (筒内温度) がどのように変化するかを、気筒 2 C のピストン停止位置が B T D C 1 1 0 ° C A であったときと B T D C 9 0 ° C A であったときとで比較したグラフである。なお、これらのピストン停止位置 (B T D C 1 1 0 ° C A、9 0 ° C A) は、いずれも図 5 に示した X ~ Y のクランク角範囲に含まれており、よつ

て 1 圧縮始動が可能な特定範囲 R_x にも含まれているものとする。

[0076] 具体的に、図 8 のグラフでは、ピストン停止位置が $BTDC 110^\circ CA$ であったときをケース C 1、ピストン停止位置が $BTDC 90^\circ CA$ であったときをケース C 2 とし、それぞれのケースにおいてピストンの上昇に応じた筒内温度の変化をプロットしている。また、同グラフにおいて、横軸のクランク角 D_1 は、ケース C 1 (ピストン停止位置 = $BTDC 110^\circ CA$) のときに設定される燃料の噴射開始時期に対応し、クランク角 D_2 は、ケース C 2 (ピストン停止位置 = $BTDC 90^\circ CA$) のときに設定される燃料の噴射開始時期に対応している。そして、仮にこれらの時期に燃料噴射をしなかった場合 (つまり空気のみを圧縮した場合) の筒内温度を破線で表し、燃料噴射をした場合の筒内温度を実線で表している。

[0077] 図 8 に示すように、燃料噴射がなかったと仮定した場合の筒内温度 (破線の波形) は、ピストン停止位置を $BTDC 110^\circ CA$ としたケース C 1 の方が、 $BTDC 90^\circ CA$ のケース C 2 のときよりも高くなっており、特に、圧縮上死点 ($BTDC 0^\circ CA$) のときの筒内温度については、ケース C 1 の方がケース C 2 よりも大幅に高くなっている。これは、ケース C 1 (ピストン停止位置 = $BTDC 110^\circ CA$) の方が早い時期からピストン 5 の圧縮が開始されるので、その分圧縮による加熱期間が長くなるからである。

[0078] これに対し、燃料噴射を行った場合、つまり、ケース C 1 においてはクランク角 D_1 で燃料噴射を開始し、ケース C 2 においてはクランク角 D_2 で燃料噴射を開始した場合には、実線の波形に示すように、各燃料噴射を開始した後の筒内温度が燃料噴射を省略した場合に比べて低下している。つまり、燃料噴射をきっかけにして、筒内温度の上昇スピードが緩やかになり、筒内温度が上昇し難くなっている。これは、筒内に燃料が噴射されることで、ピストン 5 による圧縮の対象が空気単体から混合気 (空気と燃料の混合物) へと変化し、圧縮対象物の比熱が増大したためである。

[0079] ここで注目すべきは、ケース C 1 (ピストン停止位置 = $BTDC 110^\circ CA$) のときの燃料の噴射開始時期であるクランク角 D_1 が、ケース C 2 (

ピストン停止位置 = B T D C 90° C A) のときの噴射開始時期であるクランク角 D 2 よりも早められていることである。このように、ピストン停止位置が下死点側に近いほど噴射開始時期が早められることで、ピストン 5 による圧縮代が大きい条件、つまり圧縮による加熱期間 (ピストン停止位置から圧縮上死点に至るまでの期間) が長くなる条件であるほど、噴射された燃料の気化潜熱によって筒内温度の上昇が鈍り始める時期が早められることになる。その結果、ケース C 1 , C 2 のいずれであったとしても、つまりピストン停止位置が B T D C 110° C A または 90° C A のいずれであったとしても、圧縮上死点を迎える頃には筒内温度が同じような温度、ここでは 1000 K 程度まで上昇している。この 1000 K という温度は、混合気の自着火に必要な温度 (着火開始温度) にほぼ一致するといえるので、図 8 の例では、ピストン停止位置が異なるいずれのケースでも、圧縮上死点の近傍で混合気が自着火に至ることになる。圧縮上死点の近傍で混合気が自着火すると、その後の圧縮着火燃焼が、圧縮上死点をわずかに経過した時点、例えば上死点後 (A T D C ;After Top Dead Center) 5° C A の近傍で燃焼重心 (気筒内の燃料の 50 % が燃焼し終わる時期) を迎えるような燃焼となる。このような燃焼が起きると、その燃焼による膨張エネルギーが上死点を過ぎたばかりのピストン 5 に作用することにより、エネルギーがピストン 5 の押し下げ力に効率よく変換され、ピストンスピードが大幅に上昇することになる。なお、ピストン 5 の押し下げ力を十分に生み出すために望ましい燃焼重心の時期は、A T D C 5° C A に限られず、少なくとも A T D C 5 ± 5° C A の範囲にあればよい。

[0080] このように、上記実施形態では、1 圧縮始動時における停止時圧縮行程気筒 2 C への燃料の噴射開始時期が、当該気筒 2 C のピストン停止位置が下死点側にあるほど早められるので、燃焼による膨張エネルギーが効率よくピストン 5 に伝達される適正な時期に混合気を燃焼させることができ、エンジン始動の迅速性を効果的に向上させることができる。

[0081] また、上記実施形態では、1 圧縮始動時に停止時圧縮行程気筒 2 C に対し

行われる最初の燃料噴射 F 1 において、その噴射量が、混合気の当量比 ϕ が 1 になるような値に設定される (図 7 参照)。このような構成によれば、停止時圧縮行程気筒 2 C での最初の燃焼が理論空燃比下での高効率な燃焼となるので、当該最初の燃焼によって大きな回転力をエンジンに付与することができ、始動の迅速性をより高めることができる。

[0082] 図 9 A 及び図 9 B は、1 圧縮始動時に停止時圧縮行程気筒 2 C で起きる最初の燃焼の開始時期 (つまり混合気の着火時期) を、燃料の噴射量と噴射開始時期との関係で示したグラフである。このうち図 9 A は停止時圧縮行程気筒 2 C のピストン停止位置が B T D C 1 1 0 ° C A のときを、図 9 B は同停止位置が B T D C 8 0 ° C A のときをそれぞれ示している。各グラフにおいて、ハッチングのない白抜きの領域は、着火時期が B T D C 2 ° C A ~ A T D C 2 ° C A (B T D C $\pm$ 2 ° C A) の範囲に収まる領域である。また、この白抜きの領域よりも内側にあるハッチングの領域は、上記角度範囲よりも着火時期が進角する (早まる) 領域であり、白抜きの領域よりも外側にあるハッチングの領域は、上記角度範囲よりも着火時期が遅角する領域である。なお、図 9 A 及び図 9 B の実験結果を得るのに用いたエンジンでは、1 圧縮始動が許容される限界の停止位置、つまり上限位置 X (図 3) に対応するクランク角が B T D C 8 0 ° C A であった。このため、図 9 B は、1 圧縮始動が可能な限界の停止位置条件における結果であり、図 9 A は、これよりもピストン停止位置に余裕があるとき (下死点に近いとき) の結果である。

[0083] 図 9 A に示すように、ピストン停止位置 = B T D C 1 1 0 ° C A という条件で当量比 $\phi = 1$ 相当量の燃料を噴射する場合において、着火時期を B T D C 2 ° C A ~ A T D C 2 ° C A の範囲 (白抜きの領域) に収めるには、点 P か点 Q の位置に噴射開始時期を設定すればよい。ただし、点 Q の位置を噴射開始時期とした場合は、圧縮上死点にかなり近いタイミングで (つまり筒内はかなり高温化した状態で) 燃料が噴射されるので、噴射開始後ごく短期間で燃料が自着火することになる。このように、噴射開始から自着火までの期間 (着火遅れ時間) が短くなり過ぎると、筒内での燃料の分布に大きな偏り

が生じた状態（つまり極端に燃料リッチまたは燃料リーンな領域ができた状態）で燃焼が起きる結果、HC、CO、NO_xの発生量やスート（煤）の発生量が増大し、エミッション性能が悪化してしまう。このため、燃料の噴射開始時期としては、点Qよりも進角側の点Pに対応する時期が望ましく、この点Pに対応する時期は、この例ではBTDC約25°CAとなる。これにより、着火遅れ時間が十分に確保され、エミッション性能に優れた燃焼が実現される。なお、本願発明者の研究によれば、エミッション性能を満足するには、着火遅れ時間を少なくとも3 msec以上確保する必要がある。BTDC約25°CAという噴射開始時期は、この要件を十分に満足するものである。

[0084] 一方、図9Bに示すように、ピストン停止位置 = BTDC 80°CA という条件で当量比 $\phi = 1$ 相当量の燃料を噴射する場合、着火時期をBTDC 2°CA ~ ATDC 2°CAの範囲に収めるには、点Rの位置に噴射開始時期を設定すればよい。この例では、点Rに対応する時期はBTDC約10°CAであり、上述した図9Aのケース（ピストン停止位置 = BTDC 110°CAの場合）に比べて遅れた時期となる。この場合でも、噴射開始から自着火までの期間（着火遅れ時間）は3 msec以上確保されるので、エミッション性能は必要なレベルで確保される。

[0085] 図9A及び図9Bの結果からも理解されるように、当量比 $\phi = 1$ という条件下で混合気の着火時期を圧縮上死点の近傍（この例ではBTDC 2°CA ~ ATDC 2°CA）に揃えつつ、しかもエミッション性能を確保しようとするれば、停止時圧縮行程気筒2Cのピストン停止位置に応じて燃料の噴射開始時期を変化させる、つまりピストン停止位置が下死点側に近い場合は遠い場合に比べて噴射開始時期を遅くする（言い換えれば下死点に近いほど噴射開始時期を早める）必要があることが分かる。このような事情から、上記実施形態では、図5に示したような噴射開始時期を採用しているのである。これにより、同じく図5に示すように、混合気の着火時期が、停止時圧縮行程気筒2Cのピストン停止位置にかかわらず圧縮上死点の近傍に設定される。

そして、このような時期に着火時期が設定されることで、燃焼重心はA T D C 5 ° C A (縦軸の—5 の目盛に相当)の前後の所定範囲に収められることになる。なお、図5において、燃焼重心の時期は、少なくともA T D C 5 ± 5 ° C A の範囲に含まれている。

[0086] ここで、図5に示した燃料の噴射開始時期は、停止時圧縮行程気筒2 Cのピストン停止位置が異なる以外、他の条件は全て同一であることが前提となっている。逆にいえば、停止時圧縮行程気筒2 Cへの燃料の噴射開始時期は、ピストン停止位置以外の要因を考慮して変動させることも可能であり、その一例を図10に示す。

[0087] 図10の例では、1圧縮始動時の最初の燃料噴射F 1 (停止時圧縮行程気筒2 Cへの燃料噴射)の開始時期が、エンジンの冷却水温によって可変的に設定されるようになっている。より具体的には、エンジンの冷却水温が温間運転時の標準温度 (例えば80℃) である場合の燃料噴射F 1の開始時期が実線のラインであるとする、上記標準温度よりも冷却水温が高いときの噴射開始時期は、全体として実線のラインよりも進角側 (B D Cに近い側) に設定され、逆に、上記標準温度よりも冷却水温が低いときの噴射開始時期は、全体として実線のラインよりも遅角側 (T D Cに近い側) に設定される。言い換えると、停止時圧縮行程気筒2 Cのピストン停止位置が同一であれば、1圧縮始動時の最初の燃料噴射F 1の開始時期は、エンジンの冷却水の温度が高いほど早く設定される。このようにすれば、冷却水温の値が多少変動しても混合気を適正な時期に燃焼させることができるという利点がある。

[0088] すなわち、エンジンの冷却水温が高ければ、気筒内で圧縮される空気の初期温度が高くなるので、圧縮上死点付近における筒内温度をほぼ同一の温度まで上昇させるには、燃料の噴射開始時期を早めて、その燃料噴射に基づきより早い時期から筒内温度の上昇スピードを抑える必要がある。この点を考慮して、図10の例では、エンジンの冷却水温が高いほど噴射開始時期を早めるようにしており、これにより、冷却水温の値が多少変動しても常に適正なタイミングで混合気を燃焼させることができ、燃焼による膨張エネルギー

をピストン 5 に効率よく伝達することができる。

[0089] また、上記実施形態では、停止時圧縮行程気筒 2 C のピストン 5 が上限位置 X よりも上死点側で停止したと判定された場合、その後のエンジン再始動時において、停止時圧縮行程気筒 2 C の次に圧縮行程を迎える停止時吸気行程気筒 2 D に最初の燃料を噴射して自着火させる 2 圧縮始動が実行される。このような構成によれば、停止時圧縮行程気筒 2 C のピストン 5 が比較的上死点寄りであるために十分な圧縮代が確保できない状況において、停止時圧縮行程気筒 2 C ではなく、その次に圧縮行程を迎える停止時吸気行程気筒 2 D に最初の燃料を噴射して自着火させるので、失火を招くことなく確実にエンジンを再始動させることができる。

[0090] すなわち、停止時圧縮行程気筒 2 C のピストン 5 が上限位置 X よりも上死点側で停止していれば、このピストン 5 による圧縮代が少なく、ピストン 5 が上死点まで上昇しても筒内の空気が十分に高温化しないため、停止時圧縮行程気筒 2 C に燃料を噴射しても失火が起きるおそれがある。これに対し、上記実施形態では、このような場合に停止時圧縮行程気筒 2 C ではなく停止時吸気行程気筒 2 D（つまり圧縮行程に移行したときには十分な圧縮代を確保できる気筒）に燃料を噴射して自着火させるので、噴射した燃料を確実に燃焼させてエンジンを再始動させることができる。

[0091] なお、上記実施形態では、1 圧縮始動時の最初の燃料噴射 F 1 に基づく当量比 ϕ を 1 に設定する一方、2 回目以降の燃料噴射（F 2 , F 3 , F 4）においては、当量比 ϕ を 1 未満の範囲において徐々に低下させるようにしたが、エンジンが完爆するまでの間、当量比 ϕ を一律に 1 に設定することも可能である。このようにすれば、より短期間のうちにエンジン回転速度を充分に上昇させることができる。しかしながら、図 6 に示したように、上記実施形態では、燃料噴射の回数が進むほどにその噴射開始時期が徐々に早められるので、上記のように当量比 ϕ を一律に 1 に設定すると、混合気の着火時期が早くなり過ぎるブリグニッションと呼ばれる異常燃焼が起きることが懸念される。そこで、上記実施形態では、このような異常燃焼を確実に回避する

観点から、噴射回数が進むほどに噴射量を減らし、当量比 ϕ を徐々に低下させるようにしている。

[0092] また、上記実施形態では、エンジンの自動停止条件または再始動条件の成立を、アクセルペダル36やブレーキペダル37の操作に関する要件を含めて判断するようにしたが、これは、主に自動変速機を搭載したAT車を念頭に入れたものである。一方、AT車でない場合、つまり、手動変速機を搭載したMT車である場合は、上記とは異なる要件を採用することができる。例えば、自動停止条件に関しては、アクセルOFFかつブレーキONという要件に代えて、手動変速機の変速段がニュートラルであり、かつクラッチペダルがリリースされていること、という要件を設定することができる。また、再始動条件に関しては、アクセルONまたはブレーキOFFという要件に代えて、クラッチペダルが踏み込まれていること、という要件を設定することができる。

符号の説明

[0093] 1 エンジン本体
 2 A ~ 2 D 気筒
 5 ピストン
 1 5 インジェクタ
 5 1 自動停止制御部
 5 2 停止位置判定部
 5 3 再始動制御部
 X 上限位置
 R_x 特定範囲

請求の範囲

[請求項1]

複数の気筒と、各気筒に往復動可能に設けられたピストンと、各気筒に燃料を噴射するインジェクタとを備えるとともに、圧縮上死点よりも前に上記インジェクタから気筒内に噴射された燃料を空気と混合しつつ上記ピストンの圧縮により自着火させる予混合圧縮着火燃焼が可能なエンジンに設けられた始動制御装置であって、

所定の自動停止条件が成立したときに上記エンジンを自動停止させる自動停止制御部と、

上記自動停止に伴い圧縮行程で停止した停止時圧縮行程気筒のピストンが予め定められた上限位置よりも下死点側に設定された特定範囲にあるか否かを判定する停止位置判定部と、

上記停止時圧縮行程気筒のピストンが上記特定範囲で停止したと判定され、かつ所定の再始動条件が成立した場合に、上記インジェクタから上記停止時圧縮行程気筒に最初の燃料を噴射して自着火させ、エンジン全体として1回目の圧縮行程を迎えたときから燃焼を再開させる1圧縮始動を実行する再始動制御部とを備え、

上記再始動制御部は、上記停止時圧縮行程気筒のピストン停止位置が上記特定範囲の中でも下死点側にあるほど、上記停止時圧縮行程気筒への最初の燃料の噴射開始時期を早くする、ことを特徴とする予混合圧縮着火式エンジンの始動制御装置。

[請求項2]

請求項1記載の予混合圧縮着火式エンジンの始動制御装置において、

上記再始動制御部は、1圧縮始動時における燃料の噴射開始時期のうち少なくとも停止時圧縮行程気筒に噴射する最初の燃料の噴射開始時期を、当該気筒での圧縮着火燃焼の燃焼重心が圧縮上死点後 5 ± 5 。CAに収まるような時期に設定する、ことを特徴とする予混合圧縮着火式エンジンの始動制御装置。

[請求項3]

請求項1または2記載の予混合圧縮着火式エンジンの始動制御装置

において、

上記再始動制御部は、1圧縮始動時における燃料の噴射量のうち少なくとも停止時圧縮行程気筒に噴射する最初の燃料の噴射量を、当該気筒内の混合気の当量比が1になるような値に設定する、ことを特徴とする予混合圧縮着火式エンジンの始動制御装置。

[請求項4]

請求項1～3のいずれか1項に記載の予混合圧縮着火式エンジンの始動制御装置において、

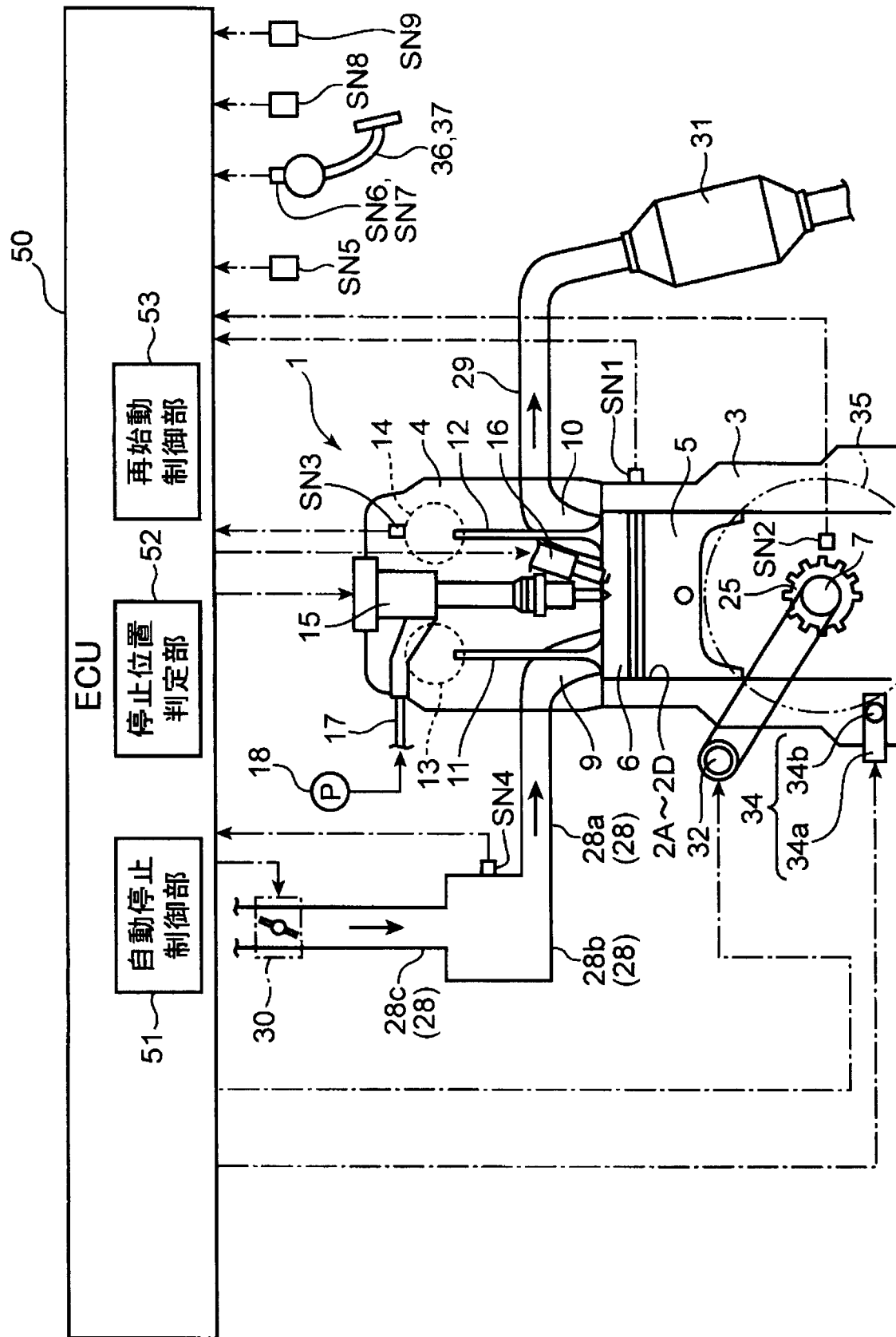
上記停止時圧縮行程気筒のピストン停止位置が上記特定範囲内で同一の位置にあるとき、上記再始動制御部は、1圧縮始動時における燃料の噴射開始時期のうち少なくとも停止時圧縮行程気筒に噴射する最初の燃料の噴射開始時期を、エンジンの冷却水の温度が高いほど早くする、ことを特徴とする予混合圧縮着火式エンジンの始動制御装置。

[請求項5]

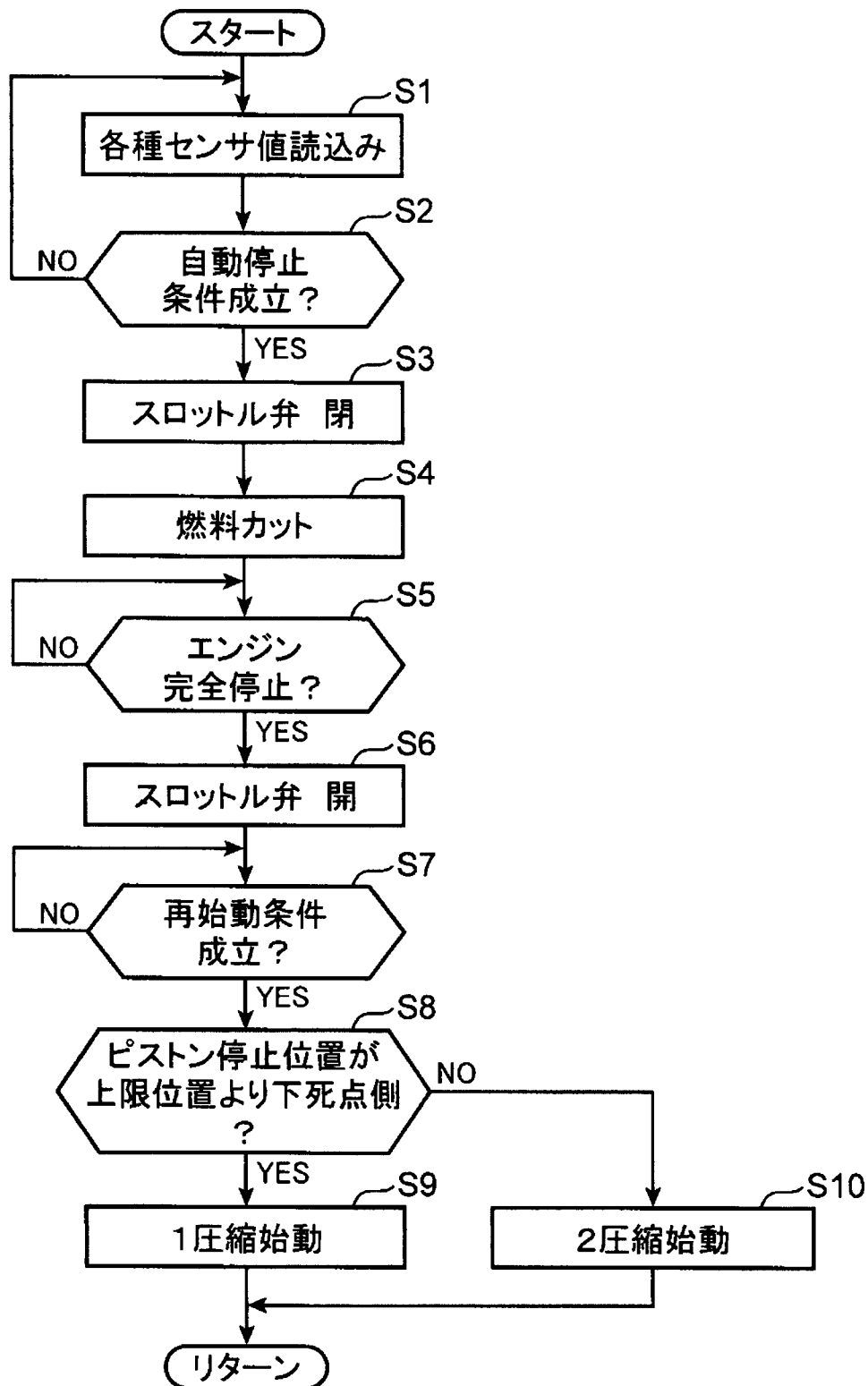
請求項1～4のいずれか1項に記載の予混合圧縮着火式エンジンの始動制御装置において、

上記停止時圧縮行程気筒のピストンが上記上限位置よりも上死点側で停止したと判定された場合、上記再始動制御部は、上記自動停止に伴い吸気行程で停止した停止時吸気行程気筒が圧縮行程に移行してから当該気筒に最初の燃料を噴射して自着火させ、エンジン全体として2回目の圧縮行程を迎えたときから燃焼を再開させる2圧縮始動を実行する、ことを特徴とする予混合圧縮着火式エンジンの始動制御装置。

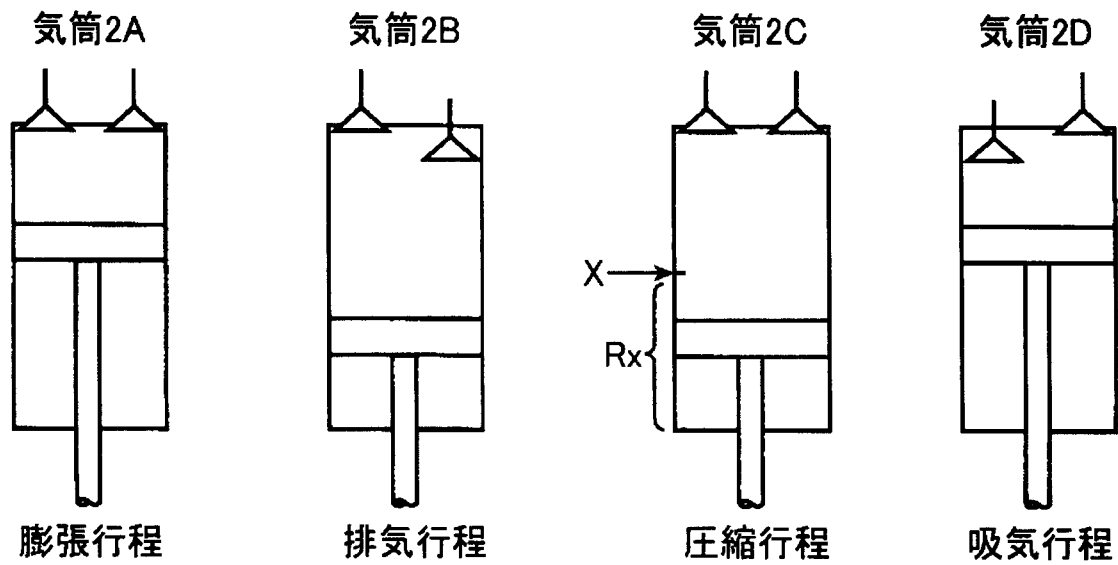
[図1]



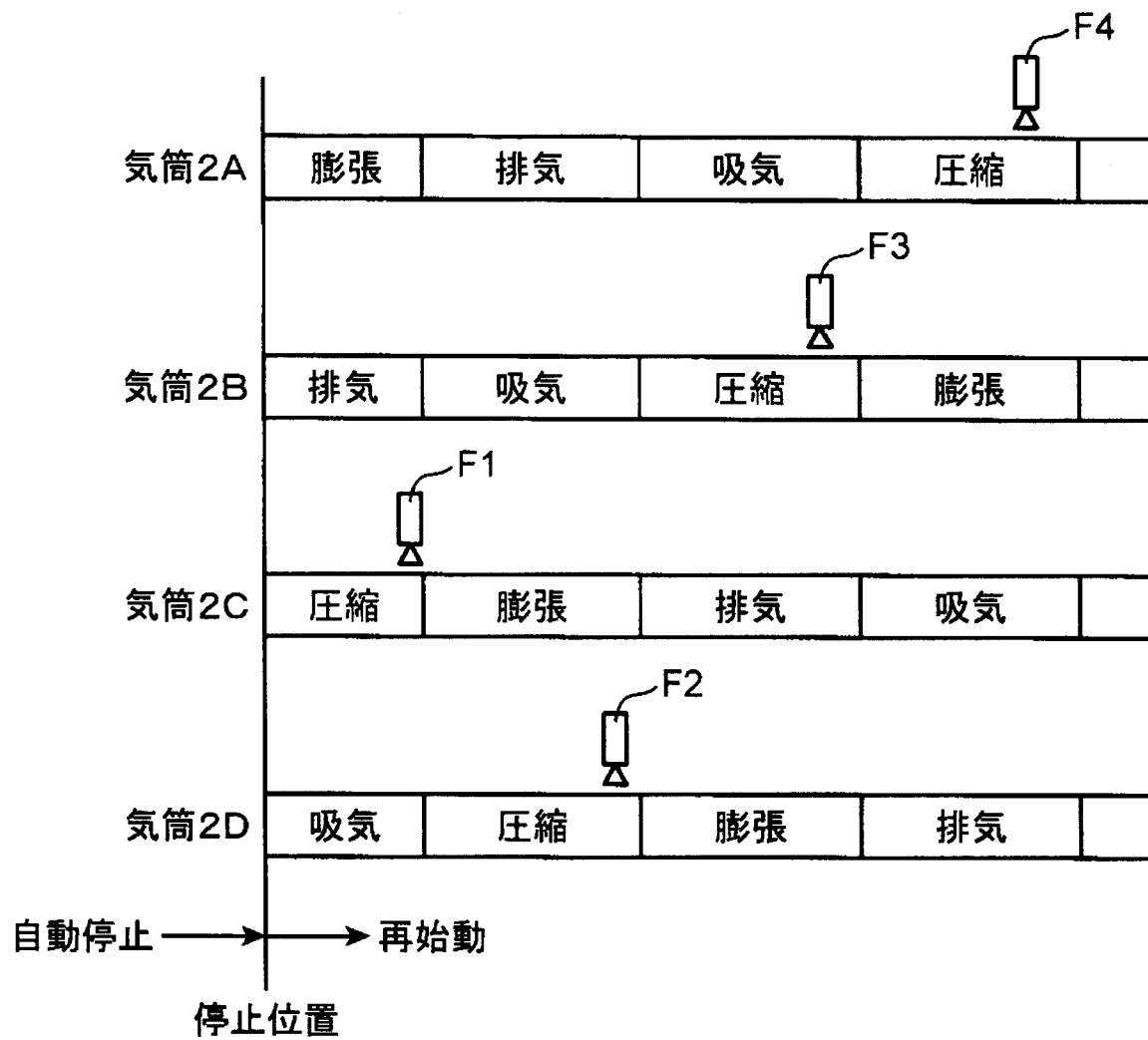
[図2]



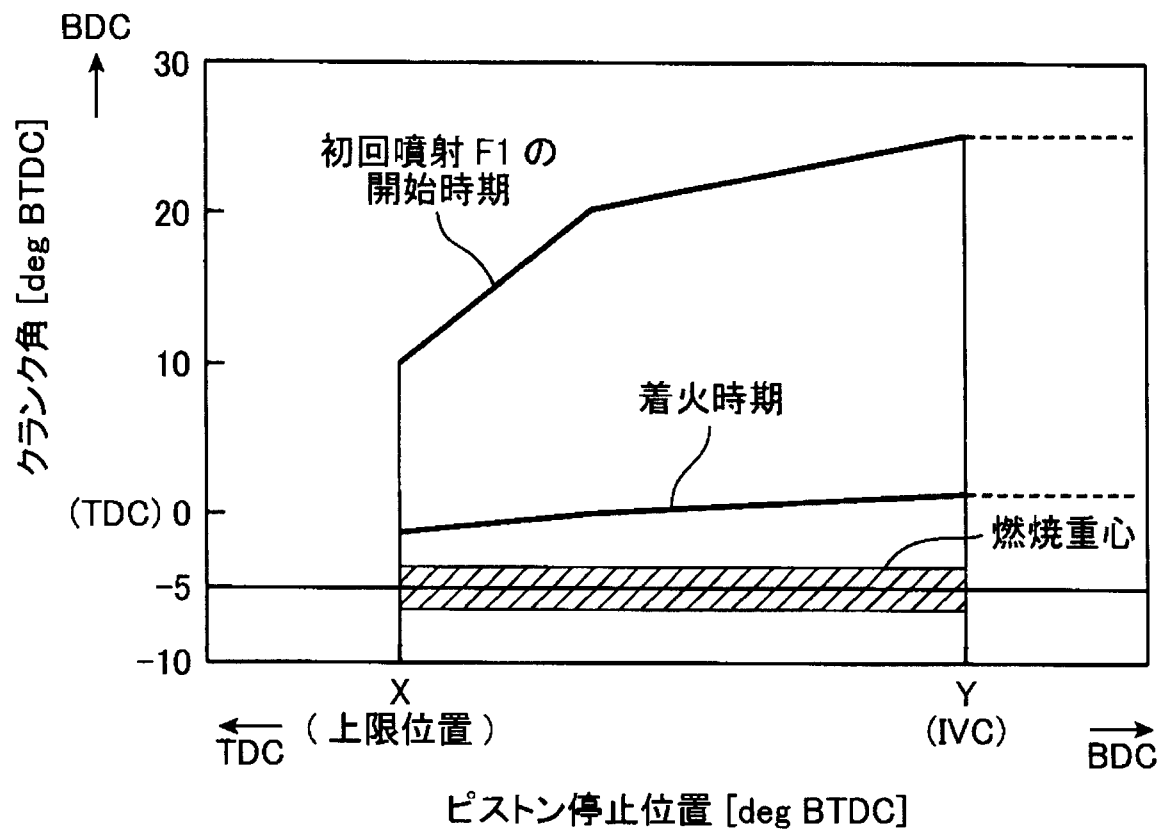
[図3]



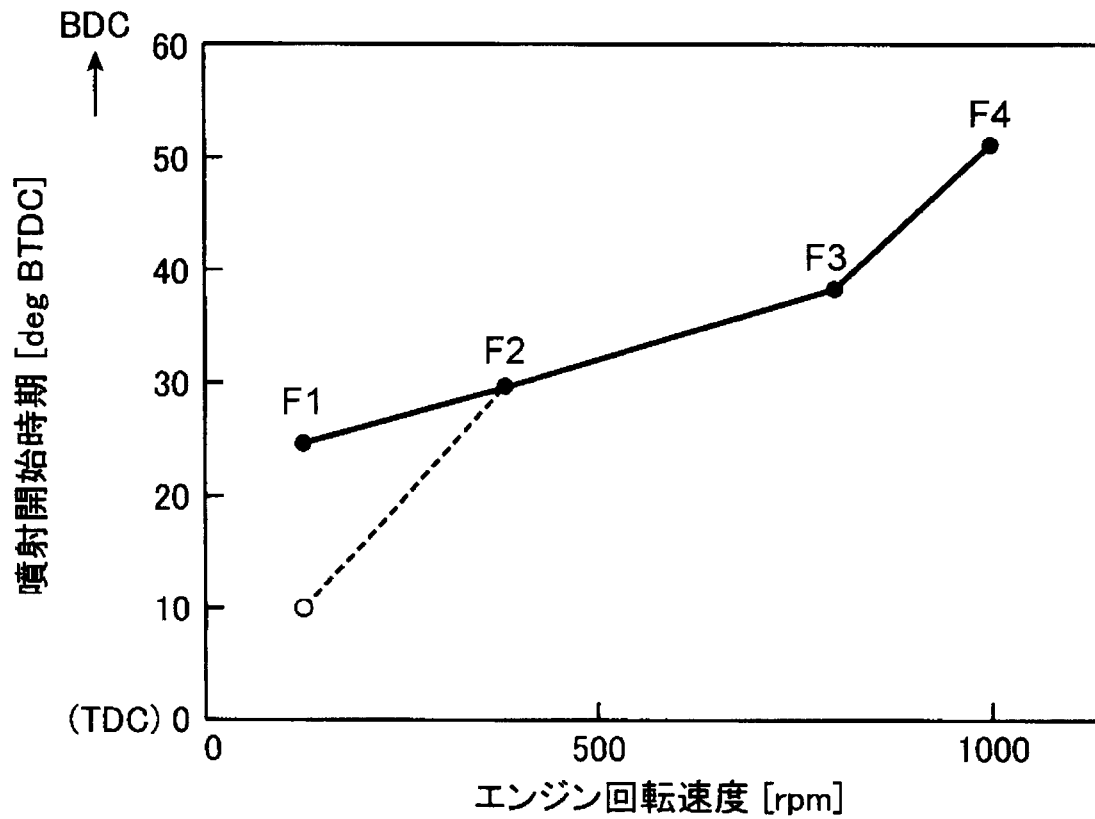
[図4]



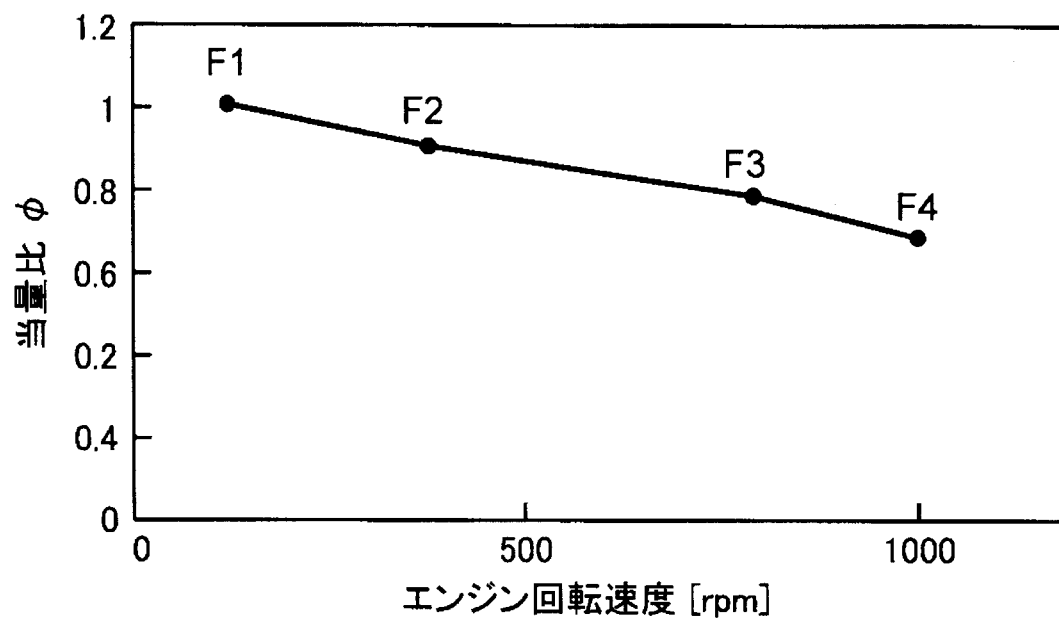
[図5]



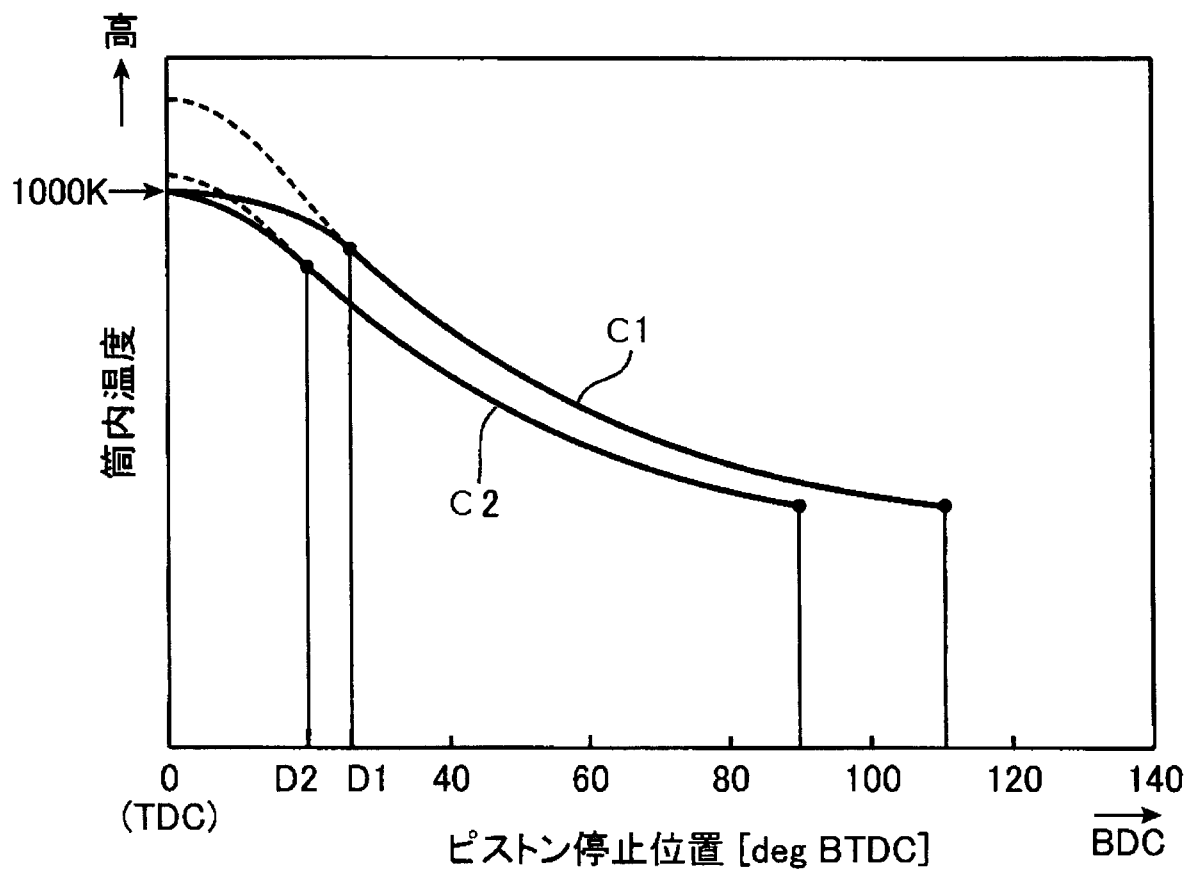
[図6]



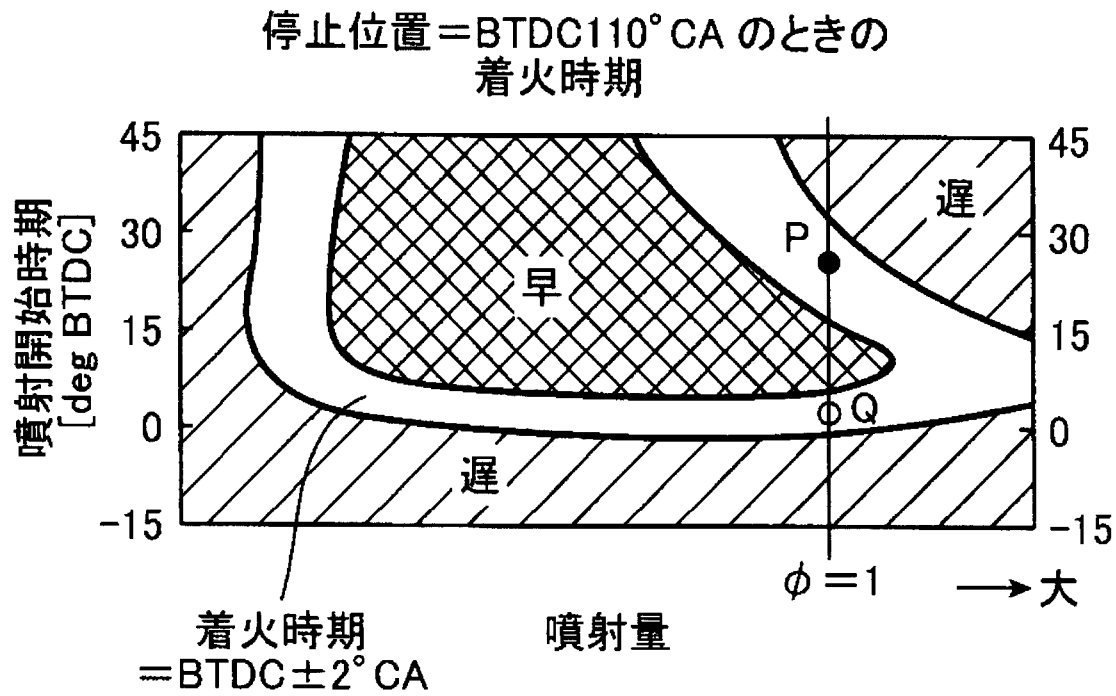
[図7]



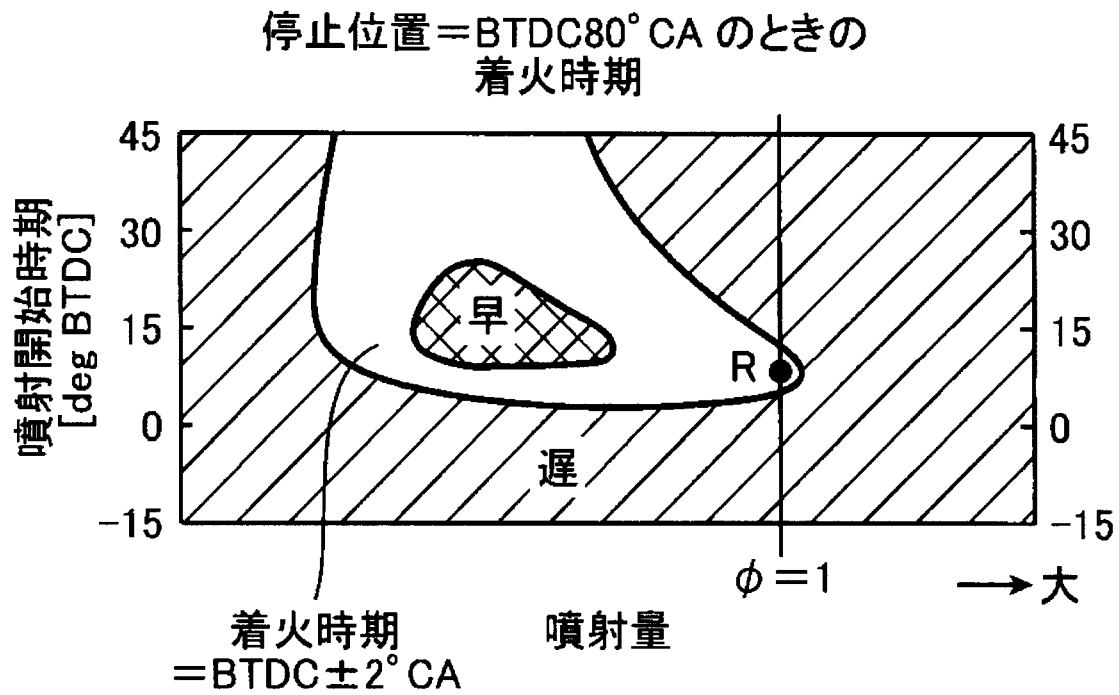
[図8]



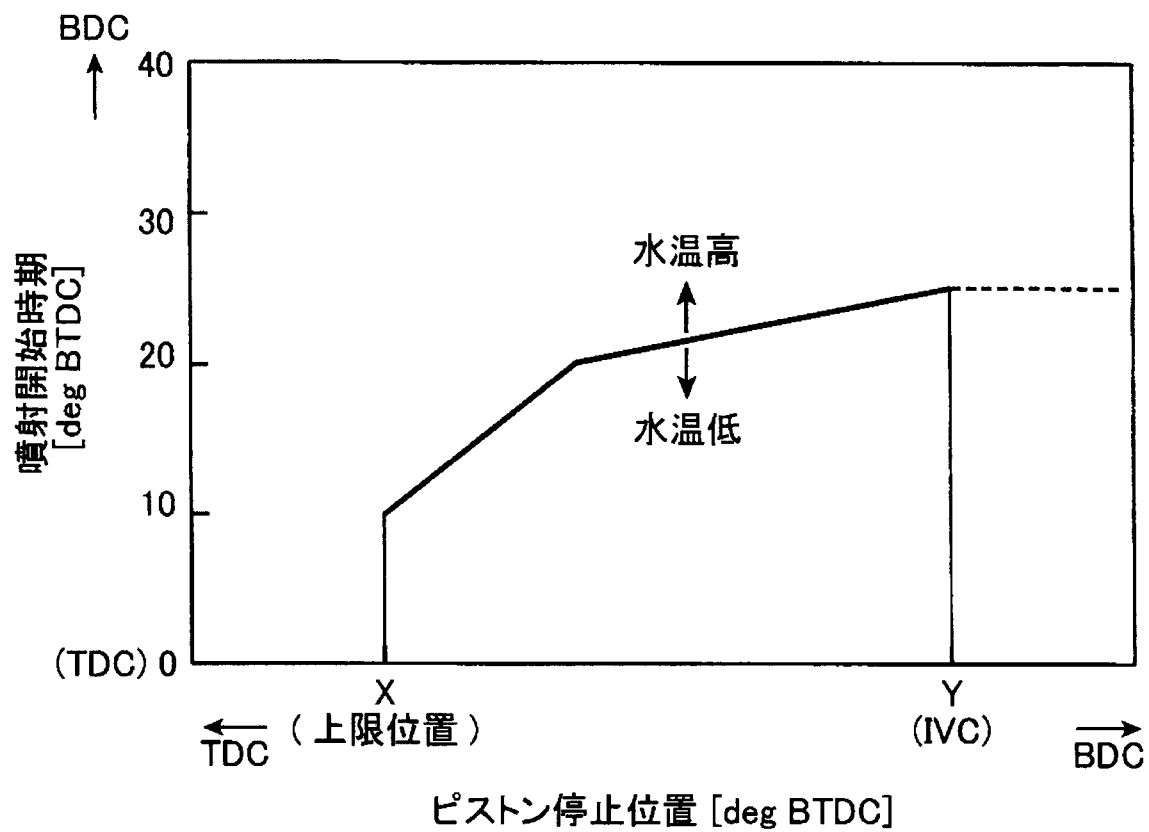
[図9A]



[図9B]



[図10]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT / JP2 014 / 002321

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

F02D4 1/06 (2006.01) i, F02D29/02 (2006.01) i, F02D4 1/02 (2006.01) i, F02D4 5/00 (2006.01) i

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

F02D41/06, F02D29/02, F02D41/02, F02D45/00

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Jitsuyo	Shinan	Koho	1922-1996	Jitsuyo	Shinan	Toroku	Koho	1996-2014
Kokai	Jitsuyo	Shinan	1971-2014	Toroku	Jitsuyo	Shinan	Koho	1994-2014

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	JP 2009-062960 A (Mazda Motor Corp.), 26 March 2009 (26.03.2009), paragraphs [0056] to [0057] (Family: none)	1-5
A	JP 2013-072281 A (Mazda Motor Corp.), 22 April 2013 (22.04.2013), paragraphs [0082] to [0084] & US 2013/0080039 A1 & DE 102012016877 A & CN 103016176 A	1-5
A	JP 2012-012993 A (Mazda Motor Corp.), 19 January 2012 (19.01.2012), paragraphs [0085] to [0086] (Family: none)	1-5



Further documents are listed in the continuation of Box C.



See patent family annex.

* Special categories of cited documents:

"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date

"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art

"G" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

24 June, 2014 (24.06.14)

Date of mailing of the international search report

08 July, 2014 (08.07.14)

Name and mailing address of the ISA/

Japanese Patent Office

Authorized officer

Facsimile No.

Telephone No.

A. 発明の属する分野の分類 (国際特許分類 (I P C))

Int.Cl. F02D41/06 (2006. 01) i, F02D29/02 (2006. 01) i, F02D41/02 (2006. 01) i, F02D45/00 (2006. 01) i

B. 調査を行った分野

調査を行った最小限資料 (国際特許分類 (I P C))

Int.Cl. F02D41/06, F02D29/02, F02D41/02, F02D45/00

最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの

日本国実用新案公報	1 9 2 2 -
日本国公開実用新案公報	1 9 7 1 - 2
日本国実用新案登録公報	1 9 9 6 -
日本国登録実用新案公報	1 9 9 4 - 2

国際調査で使用した電子データベース (データベースの名称、調査に使用した用語)
年

C. 関連すると認められる文献

引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求項の番号
A	JP 2009-062960 A (マツダ株式会社) 2009. 03. 26, [0056] - [0057] (ファミリーなし)	1-5
A	JP 2013-072281 A (マツダ株式会社) 2013. 04. 22, [0082] - [0084] & US 2013/0080039 A1 & DE 102012016877 A & CN 103016176 A	1-5
A	JP 2012-012993 A (マツダ株式会社) 2012. 01. 19, [0085] - [0086] (ファミリーなし)	1-5

☐ C 欄の続きにも文献が列挙されている。☐ パテントファミリーに関する別紙を参照。

* 引用文献の カテゴリー

- A 「特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの」
 E 「国際出願 日前の出願または特許であるが、国際出願 日以後に公表されたもの」
 F 「優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行 日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献 (理由を付す)」
 G 「口頭による開示、使用、展示等に言及する文献」
 H 「国際出願 日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願

の 日の後に公表された文献

- I 「国際出願 日又は優先 日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの」
 J 「特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの」
 K 「特に関連のある文献であって、当該文献と他の 1 以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの」
 L 「同一パテントファミリー文献」

国際調査を完了した日

2 4 . 0 6 . 2 0 1 4

国際調査報告の発送日

0 8 . 0 7 . 2 0 1 4

国際調査機関の名称及びあて先

日本国特許庁 (I S A / J P)

郵便番号 1 0 0 - 8 9 1 5

東京都千代田区霞が関三丁目 4 番 3 号

特許庁審査官 (権限のある職員)

吉村 俊厚

電話番号 0 3 - 3 5 8 1 - 1 1 0 1 内線 3 3 9 5

3 Z

4 6 4 8