

(19) 日本国特許庁 (JP)

(12) 特 許 公 報 (B2)

(11) 特許番号

特許第4858287号
(P4858287)

(45) 発行日 平成24年1月18日 (2012. 1. 18)

(24) 登録日 平成23年11月11日 (2011. 11. 11)

(51) Int. Cl.

F 1

F O 2 D 15/04 (2006. 01)

F O 2 D 15/04

C

F O 2 B 75/04 (2006. 01)

F O 2 D 15/04

B

F O 2 B 23/00 (2006. 01)

F O 2 D 15/04

D

F O 2 F 7/00 (2006. 01)

F O 2 B 75/04

F O 2 F 1/14 (2006. 01)

F O 2 B 23/00

P

請求項の数 13 (全 39 頁) 最終頁に続く

(21) 出願番号 特願2007-112261 (P2007-112261)
(22) 出願日 平成19年4月20日 (2007. 4. 20)
(65) 公開番号 特開2008-267290 (P2008-267290A)
(43) 公開日 平成20年11月6日 (2008. 11. 6)
審査請求日 平成21年12月3日 (2009. 12. 3)

(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 110000213
特許業務法人プロスペック特許事務所
(72) 発明者 神山 栄一
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 秋久 大輔
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 米澤 篤

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】

車両に搭載されるとともに、ピストンの往復動に伴って変化する燃焼室の容積の最小値に対する最大値の比である機械圧縮比を変更可能な圧縮比変更手段を有する内燃機関に適用され、

実際の機械圧縮比が前記内燃機関の負荷に基づいて決定される機械圧縮比に一致するように前記圧縮比変更手段を制御する圧縮比制御手段と、

前記燃焼室を形成する壁面の近傍に冷却媒体を供給することにより同壁面を同冷却媒体によって冷却するとともに、同供給される冷却媒体が同壁面から受け取る単位時間あたりの熱エネルギーの大きさを表す冷却効率を調整可能に構成された冷却手段と、

ノッキングの発生に関係する指標値を取得する指標値取得手段と、

ノッキングが発生したという条件及びノッキングが発生し得る状態であるという条件のうちの少なくとも一つを含むノッキング判定条件が成立しているか否かを前記取得された指標値に基づいて判定し、同ノッキング判定条件が成立していると判定した場合、前記冷却効率を高めるように前記冷却手段を制御するとともに、同ノッキング判定条件が成立していると判定された時点であるノッキング判定時点から前記冷却効率が実際に上昇し始める時点である第1時点までの期間である第1期間中、実際の機械圧縮比を前記負荷に基づいて決定される機械圧縮比よりも低い機械圧縮比に維持するように前記圧縮比変更手段を制御し、同第1時点以降の第2期間中、前記冷却効率が徐々に上昇するにつれて実際の機械圧縮比を前記負荷に基づいて決定される機械圧縮比へ向けて徐々に高くするように前記

10

20

圧縮比変更手段を制御するロッキング抑制手段と、
を備える内燃機関の制御装置。

【請求項 2】

請求項 1に記載の内燃機関の制御装置において、
前記冷却手段は、前記供給される冷却媒体の量を変更することにより、前記冷却効率を調整するように構成された内燃機関の制御装置。

【請求項 3】

請求項 1又は請求項 2に記載の内燃機関の制御装置において、
前記冷却媒体は、冷却水であり、
前記冷却手段は、電力により駆動されることによって前記冷却水を送り出すことにより
前記壁面の近傍へ同冷却水を供給する電動式のポンプを含む内燃機関の制御装置。 10

【請求項 4】

請求項 1に記載の内燃機関の制御装置において、
前記冷却媒体は、冷却水であり、
前記冷却手段は、電力が供給されるように構成され且つ同供給された電力に応じた回転速度にて回転する回転子を有するとともに同回転子が回転することによって同回転子の回転速度が高くなるほど多くなる量の前記冷却水を送り出すことにより前記壁面の近傍へ同冷却水を供給するように構成された電動式のポンプを含み、
前記ロッキング抑制手段は、前記ポンプに供給される電力を制御することにより前記冷却手段を制御するように構成されとともに、前記第 1 時点を前記回転子の回転速度が所定の閾値回転速度となった時点に設定するように構成された内燃機関の制御装置。 20

【請求項 5】

請求項 1に記載の内燃機関の制御装置において、
前記冷却媒体は、冷却水であり、
前記冷却手段は、電力が供給されるように構成され且つ同供給された電力に応じた回転速度にて回転する回転子を有するとともに同回転子が回転することによって同回転子の回転速度が高くなるほど多くなる量の前記冷却水を送り出すことにより前記壁面の近傍へ同冷却水を供給するように構成された電動式のポンプを含み、
前記ロッキング抑制手段は、前記ポンプに供給される電力を制御することにより前記冷却手段を制御するように構成されとともに、前記第 2 期間中における実際の機械圧縮比を前記回転子の回転速度が高くなるほど高くするように構成された内燃機関の制御装置。 30

【請求項 6】

請求項 3に記載の内燃機関の制御装置において、
前記内燃機関は、シリンダブロック及びクランクケースのうちの一方である固定側部材が前記車両に固定されるとともに、同シリンダブロック及び同クランクケースのうちの他方である可動側部材が同固定側部材に対して相対移動可能に構成され、
前記圧縮比変更手段は、前記可動側部材を前記固定側部材に対して相対移動させることにより実際の機械圧縮比を変更するように構成され、
前記ポンプは、前記圧縮比変更手段による機械圧縮比の変更に伴って前記固定側部材に対して相対移動しない部材に固定された内燃機関の制御装置。 40

【請求項 7】

請求項 1に記載の内燃機関の制御装置において、
前記冷却手段は、前記供給される冷却媒体の温度を変更することにより、前記冷却効率を調整するように構成された内燃機関の制御装置。

【請求項 8】

請求項 1～請求項 7のいずれか一項に記載の内燃機関の制御装置において、
前記指標値取得手段は、前記冷却媒体の温度、前記燃焼室に導入される空気の温度、同燃焼室内のガスの圧力、及び、前記内燃機関の振動、のうちの少なくとも 1 つを前記指標値として検出することにより前記指標値を取得するように構成された内燃機関の制御装置。
。

【請求項 9】

請求項 1～請求項 8 のいずれか一項に記載の内燃機関の制御装置であって、
前記燃焼室内に形成された混合ガスに点火する点火手段と、
前記負荷に基づいて決定される点火時期にて前記点火手段が前記混合ガスに実際に点火するように同点火手段を制御する点火時期制御手段と、
を備え、

前記ノッキング抑制手段は、前記ノッキング判定条件が成立していると判定した場合、前記ノッキング判定時点を開始時点とする所定の点火遅角制御期間において前記負荷に基づいて決定される点火時期よりも遅角側の遅角点火時期にて前記点火手段が前記混合ガスに実際に点火するように同点火手段を制御する内燃機関の制御装置。

10

【請求項 10】

請求項 9 に記載の内燃機関の制御装置において、

前記ノッキング抑制手段は、前記点火遅角制御期間のうちの前記開始時点から前記第 1 時点以降の第 2 時点までの期間中、前記遅角点火時期を第 1 の遅角点火時期に設定するとともに、同点火遅角制御期間のうちの同第 2 時点以降の期間中、同遅角点火時期を同第 1 の遅角点火時期よりも進角側の第 2 の遅角点火時期に設定するように構成された内燃機関の制御装置。

【請求項 11】

請求項 10 に記載の内燃機関の制御装置において、

前記ノッキング抑制手段は、前記点火遅角制御期間の終了時点を前記第 2 期間の終了時点以降の時点に設定した内燃機関の制御装置。

20

【請求項 12】

請求項 1～請求項 11 のいずれか一項に記載の内燃機関の制御装置において、

前記圧縮比制御手段は、前記負荷に基づいて決定される機械圧縮比を同負荷が小さくなるほど高くなる機械圧縮比に設定するとともに、前記ピストンが上死点位置にある時点における前記燃焼室の容積である上死点燃焼室容積に対する排気弁が開弁される時点における同燃焼室の容積の比である実膨張比が同負荷が小さくなるほど高くなるように同排気弁を開弁させ、且つ、同上死点燃焼室容積に対する吸気弁が閉弁される時点における同燃焼室の容積の比である実圧縮比が同負荷にかかわらず略一定に維持されるように同吸気弁を閉弁させる内燃機関の制御装置。

30

【請求項 13】

請求項 1～請求項 12 のいずれか一項に記載の内燃機関の制御装置であって、

前記内燃機関は、複数の気筒を有する多気筒内燃機関であり、

前記圧縮比変更手段は、前記複数の気筒のそれぞれの機械圧縮比を同時に一つの機械圧縮比に変更するように構成され、

前記指標値取得手段は、前記複数の気筒のそれぞれに対する前記指標値を取得するように構成され、

前記冷却手段は、前記冷却効率を前記複数の気筒のそれぞれに対して調整可能に構成され、

前記ノッキング抑制手段は、前記複数の気筒のそれぞれに対して取得された前記指標値に基づいて前記ノッキング判定条件が成立しているか否かを判定し、同複数の気筒のうちのいずれかの気筒において同ノッキング判定条件が成立していると判定した場合、同複数の気筒のうちの同ノッキング判定条件が成立している気筒に対する冷却効率を同複数の気筒のうちの他の気筒に対する冷却効率よりも大きく高めるように前記冷却手段を制御するように構成された内燃機関の制御装置。

40

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、ピストンの往復動に伴って変化する燃焼室の容積の最小値に対する最大値の

50

比である機械圧縮比を変更可能な圧縮比変更装置を備える内燃機関の制御装置に関する。

【背景技術】

【0002】

内燃機関の機械圧縮比を変更可能な圧縮比変更装置を備える内燃機関の制御装置が知られている。一般に、燃焼室を形成する壁面（例えば、ボア壁面）の近傍に位置する混合ガス（エンドガス）の温度及び圧力が過度に高くなると、混合ガスの点火後にエンドガスが暴発的に燃焼することによってノッキングが発生する。ノッキングが発生すると、内燃機関の熱効率が著しく低下するとともに、燃焼室を構成する壁面（シリンダヘッド等）が溶損する虞が生じる。

【0003】

10

ところで、内燃機関の負荷が小さくなるにつれて燃焼室に形成される混合ガス中の燃料量は少なくなる。従って、混合ガスが燃焼することにより発生する熱エネルギーも小さくなる。その結果、燃焼室を形成する壁面が混合ガスの燃焼により発生する熱エネルギーにより加熱される程度が小さくなるので、燃焼前のエンドガスがその壁面により加熱される程度が小さくなる。更に、内燃機関の負荷が小さくなるにつれて燃焼室に形成される混合ガスの量が少なくなるので、ピストンの圧縮作用による混合ガスの温度の上昇量も小さくなる。従って、内燃機関の負荷が小さくなるにつれてノッキングは発生しにくくなる。

【0004】

そこで、上記従来の制御装置の一つは、内燃機関の負荷が小さくなるにつれて機械圧縮比が高くなるように圧縮比変更装置を制御する。従って、内燃機関の負荷が比較的小さい状態においては、機械圧縮比が比較的高くされるので内燃機関の熱効率が向上する。その結果、ノッキングの発生を回避しながら良好な燃費にて内燃機関を運転することができる（例えば、特許文献1を参照。）。

20

【0005】

更に、その制御装置は、ノッキングが発生した場合、機械圧縮比が負荷に基づいて決定される機械圧縮比よりも低い機械圧縮比となるように圧縮比変更装置を制御する。これにより、エンドガスの圧力が低くなるのでノッキングの発生が抑制される。

【特許文献1】特開2006-177176号公報

【0006】

しかしながら、上記従来の制御装置によれば、ノッキングが発生した時点以降において、機械圧縮比が負荷に基づいて決定される機械圧縮比よりも低い機械圧縮比に制御され続けるので、燃費向上が阻害されてしまうという問題があった。

30

【発明の開示】

【0007】

本発明は上述した課題に対処するためになされたものであって、その目的は、燃費向上が阻害されることを回避しながらノッキングの発生を抑制することが可能な内燃機関の制御装置を提供することにある。

【0008】

かかる目的を達成するため本発明に係る内燃機関の制御装置は、

車両に搭載されるとともに、ピストンの往復動に伴って変化する燃焼室の容積の最小値に対する最大値の比である機械圧縮比を変更可能な圧縮比変更手段を有する内燃機関に適用される。

40

【0009】

本発明に係る内燃機関の制御装置は、

実際の機械圧縮比が前記内燃機関の負荷に基づいて決定される機械圧縮比に一致するように前記圧縮比変更手段を制御する圧縮比制御手段と、

前記燃焼室を形成する壁面の近傍に冷却媒体を供給することにより同壁面を同冷却媒体によって冷却するとともに、同供給される冷却媒体が同壁面から受け取る単位時間あたりの熱エネルギーの大きさを表す冷却効率を調整可能に構成された冷却手段と、

ノッキングの発生に関係する指標値を取得する指標値取得手段と、

50

ノッキングが発生したという条件及びノッキングが発生し得る状態であるという条件のうちの少なくとも一つを含むノッキング判定条件が成立しているか否かを前記取得された指標値に基づいて判定し、同ノッキング判定条件が成立していると判定した場合、前記冷却効率を高めるように前記冷却手段を制御するとともに、同ノッキング判定条件が成立していると判定された時点であるノッキング判定時点から前記冷却効率が実際に上昇し始める時点である第1時点までの期間である第1期間中、実際の機械圧縮比を前記負荷に基づいて決定される機械圧縮比よりも低い機械圧縮比に維持するように前記圧縮比変更手段を制御し、同第1時点以降の第2期間中、前記冷却効率が徐々に上昇するにつれて実際の機械圧縮比を前記負荷に基づいて決定される機械圧縮比へ向けて徐々に高くするように前記圧縮比変更手段を制御するノッキング抑制手段と、を備える。

10

【0010】

冷却効率は、例えば、冷却媒体の流量及び冷却媒体の温度等を変更することにより調整される。従って、実際の冷却効率は、冷却効率を高めるように冷却手段が制御された時点から所定の遅延時間が経過した後になる。このため、冷却手段が制御されてから所定時間が経過するまでの間は、燃焼室壁面の温度は十分に低くならない。

【0011】

そこで、上記構成のように、ノッキング判定条件が成立していると判定された場合、冷却効率を高めるように冷却手段を制御するとともに、ノッキング判定時点を開始時点とするノッキング判定時点から前記冷却効率が実際に上昇し始める時点である第1時点までの期間である第1期間中、実際の機械圧縮比を前記負荷に基づいて決定される機械圧縮比よりも低い機械圧縮比に維持するように前記圧縮比変更手段を制御し、同第1時点以降の第2期間中、前記冷却効率が徐々に上昇するにつれて実際の機械圧縮比を前記負荷に基づいて決定される機械圧縮比へ向けて徐々に高くするように前記圧縮比変更手段を制御すれば、エンドガスの圧力が低下するので、ノッキングの発生を抑制することができる。以下、第1期間と第2期間とを合わせた期間を「低圧縮比制御期間」とも称呼する。

20

【0012】

その後、低圧縮比制御期間の終了時点においては、実際の冷却効率が十分に高くなっている。これにより、燃焼室を形成する壁面（燃焼室壁面）の温度が十分に低くなっている。その結果、エンドガスの温度が過度に高くないので、ノッキングの発生が抑制される。

30

【0013】

そして、低圧縮比制御期間の終了時点以降において、実際の機械圧縮比は内燃機関の負荷に基づいて決定される機械圧縮比に制御される。これにより、機械圧縮比が負荷に基づいて決定される機械圧縮比よりも低い機械圧縮比に制御され続けることを回避しながらノッキングの発生を抑制することができる。即ち、燃費向上が阻害されることを回避しながらノッキングの発生を抑制することができる。

【0014】

上記説明から理解されるように、第1期間中における「前記負荷に基づいて決定される機械圧縮比よりも低い機械圧縮比（以下、「第1の機械圧縮比」とも称呼する。）」よりも、第2期間中における機械圧縮比は高い。

40

【0015】

これによれば、燃焼室壁面の温度がある程度低下するまでの間、機械圧縮比が十分に低い第1の機械圧縮比に制御されているので、ノッキングの発生をより一層確実に抑制することができる。

【0016】

50

その後、燃焼室壁面の温度は、実際の機械圧縮比を負荷に基づいて決定される機械圧縮比に制御した場合にはノッキングが発生する可能性が比較的高い温度であって実際の機械圧縮比を第1の機械圧縮比よりも負荷に基づいて決定される機械圧縮比に近い機械圧縮比に制御してもノッキングが発生しない温度まで低下する。

【0017】

従って、上記構成のように、前記第2期間中に機械圧縮比を第1の機械圧縮比よりも高い機械圧縮比（以下、「第2の機械圧縮比」とも称呼する。）に制御することにより、ノッキングの発生を抑制しながら、機械圧縮比が低圧縮比制御期間のすべてにわたり第1の機械圧縮比に制御される場合と比較して燃費を向上させることができる。

10

【0018】

上述したように、前記ノッキング抑制手段は、前記第1期間中、実際の機械圧縮比を負荷に基づいて決定される機械圧縮比よりも低い機械圧縮比（前記第1の機械圧縮比）に維持するとともに、前記第2期間中、冷却効率が徐々に上昇するにつれて実際の機械圧縮比を負荷に基づいて決定される機械圧縮比へ向けて徐々に高くするようになっている（第2期間中の機械圧縮比が第2の機械圧縮比に相当する。）。

【0019】

冷却効率を高めるように冷却手段が制御されてから、所定の遅延時間が経過するまでの間（冷却効率が上昇し始めるまでの間）、燃焼室壁面の温度は略一定となる。従って、上記構成のように、第1期間中、実際の機械圧縮比を第1の機械圧縮比に維持することにより、ノッキングの発生を確実に抑制することができる。

20

【0020】

その後、冷却効率は時間の経過に伴って徐々に高くなる。従って、時間の経過に伴って、燃焼室壁面の温度が徐々に低下するのでノッキングが発生する可能性も低下する。従って、上記構成のように、第2期間中における実際の機械圧縮比（第2の機械圧縮比）を時間の経過に伴って徐々に高くすることにより、第2期間において、機械圧縮比が一定に維持される場合よりも、ノッキングの発生をより確実に抑制しながら燃費を向上させることができる。

30

【0021】

この場合、前記冷却手段は、前記供給される冷却媒体の量を変更することにより、前記冷却効率を調整するように構成されることが好適である。

【0022】

この場合、前記冷却媒体は、冷却水であり、

前記冷却手段は、電力により駆動されることによって前記冷却水を送り出すことにより前記壁面の近傍へ同冷却水を供給する電動式のポンプを含むことが好適である。

【0023】

一方、本発明による内燃機関の制御装置の他の態様において、

前記冷却媒体は、冷却水であり、

前記冷却手段は、電力が供給されるように構成され且つ同供給された電力に応じた回転速度にて回転する回転子を有するとともに同回転子が回転することによって同回転子の回転速度が高くなるほど多くなる量の前記冷却水を送り出すことにより前記壁面の近傍へ同冷却水を供給するように構成された電動式のポンプを含み、

前記ノッキング抑制手段は、前記ポンプに供給される電力を制御することにより前記冷却手段を制御するように構成されとともに、前記第1時点を前記回転子の回転速度が所定の閾値回転速度となった時点に設定するように構成されることが好適である。

【0024】

40

50

これによれば、ポンプの回転子の回転速度が高くなるほど、燃焼室壁面の近傍に供給される冷却水の量は多くなる。即ち、回転子の回転速度は、冷却効率と強い相関関係を有する。従って、上記構成のように、第1時点を回転子の回転速度が閾値回転速度となった時点に設定すれば、冷却効率が十分に高くなってから機械圧縮比を高めることができるので、ノッキングの発生をより確実に抑制しながら燃費を向上させることができる。

【0025】

また、本発明による内燃機関の制御装置の他の態様において、

前記冷却媒体は、冷却水であり、

前記冷却手段は、電力が供給されるように構成され且つ同供給された電力に応じた回転速度にて回転する回転子を有するとともに同回転子が回転することによって同回転子の回転速度が高くなるほど多くなる量の前記冷却水を送り出すことにより前記壁面の近傍へ同冷却水を供給するように構成された電動式のポンプを含み、

前記ノッキング抑制手段は、前記ポンプに供給される電力を制御することにより前記冷却手段を制御するように構成されるとともに、前記第2期間中における実際の機械圧縮比を前記回転子の回転速度が高くなるほど高くするように構成されることが好適である。

【0026】

上述したように、回転子の回転速度が高くなるほど、燃焼室壁面の近傍に供給される冷却水の量が多くなるので冷却効率は高くなる。従って、上記構成のように、第2期間中における実際の機械圧縮比を回転子の回転速度が高くなるほど高くすれば、ノッキングの発生を抑制しながら可能な限り燃費を向上させることができる。

【0027】

一方、前記冷却手段がポンプを含んでいる場合、

前記内燃機関は、シリンダブロック及びクランクケースのうちの一方である固定側部材が前記車両に固定されるとともに、同シリンダブロック及び同クランクケースのうちの他方である可動側部材が同固定側部材に対して相対移動可能に構成され、

前記圧縮比変更手段は、前記可動側部材を前記固定側部材に対して相対移動させることにより実際の機械圧縮比を変更するように構成され、

前記ポンプは、前記圧縮比変更手段による機械圧縮比の変更に伴って前記固定側部材に対して相対移動しない部材に固定されることが好適である。

【0028】

例えば、ポンプは、圧縮比変更手段による機械圧縮比の変更に伴って固定側部材に対して相対移動しない部材としての固定側部材又は車両に固定される。

これによれば、機械圧縮比を変更する際に移動させられる可動側部材にポンプが固定された場合と比較して、機械圧縮比を変更する際に移動させる部材の重量を小さくすることができる。従って、機械圧縮比を変更するために部材を移動させることにより消費されるエネルギーを低減することができる。この結果、燃費を向上させることができる。

【0029】

また、本発明による内燃機関の制御装置の他の態様において、

前記冷却手段は、前記供給される冷却媒体の温度を変更することにより、前記冷却効率を調整するように構成されることが好適である。

【0030】

また、上記内燃機関の制御装置のいずれか一つにおいて、

前記指標値取得手段は、前記冷却媒体の温度、前記燃焼室に導入される空気の温度、同燃焼室内のガスの圧力、及び、前記内燃機関の振動、のうちの少なくとも1つを前記指標値として検出することにより、前記指標値を取得するように構成されることが好適である。

【0031】

冷却媒体の温度が高くなるほど、冷却効率は低くなる。従って、燃焼室壁面の温度が高くなるので、ノッキングが発生しやすくなる。即ち、冷却媒体の温度は、ノッキングの発生と強い相関関係を有する。また、燃焼室に導入される空気の温度（例えば、吸気管内の空気の温度）が高くなるほど、エンドガスの温度も高くなるからノッキングが発生しやすくなる。即ち、燃焼室に導入される空気の温度も、ノッキングの発生と強い相関関係を有する。一方、燃焼室内のガスの圧力（筒内圧力）が高くなるほど、エンドガスの圧力も高くなるからノッキングが発生しやすくなる。即ち、燃焼室内のガスの圧力も、ノッキングの発生と強い相関関係を有する。

【0032】

更に、ノッキングが発生した場合、内燃機関は比較的高い周波数にて振動する。従って、内燃機関の振動は、ノッキングの発生と強い相関関係を有する。加えて、ノッキングが発生した場合、燃焼室内のガスの圧力は、急激に上昇する。従って、燃焼室内のガスの圧力も、ノッキングの発生と強い相関関係を有する。

10

【0033】

従って、上記構成のように、冷却媒体の温度、燃焼室に導入される空気の温度、燃焼室内のガスの圧力、及び、内燃機関の振動、のうちの少なくとも1つを指標値として検出することにより同指標値を取得し、取得された指標値に基づいて上記ノッキング判定条件が成立しているか否かを判定することにより、ノッキング判定条件が成立しているか否かを適切に判定することができる。

20

【0034】

この場合、上記内燃機関の制御装置は、

前記燃焼室内に形成された混合ガスに点火する点火手段と、

前記負荷に基づいて決定される点火時期にて前記点火手段が前記混合ガスに実際に点火するように同点火手段を制御する点火時期制御手段と、
を備え、

前記ノッキング抑制手段は、前記ノッキング判定条件が成立していると判定した場合、前記ノッキング判定時点を開始時点とする所定の点火遅角制御期間において前記負荷に基づいて決定される点火時期よりも遅角側の遅角点火時期にて前記点火手段が前記混合ガスに実際に点火するように同点火手段を制御することが好適である。

30

【0035】

上述した制御装置においては、ノッキング判定時点にて機械圧縮比が低下させられる。しかしながら、機械圧縮比を変更するためには、例えば、クランクケースに対してシリンダブロックを相対移動させなければならない。従って、実際の機械圧縮比は、所定の制御遅れを伴って変化する。即ち、ノッキング判定時点の直後の期間においては、実際の機械圧縮比は、比較的高い機械圧縮比のままである。これにより、ノッキングが発生する虞があった。

【0036】

これに対し、上記構成によれば、ノッキング判定時点にて点火時期が負荷に基づいて決定される点火時期よりも遅角側の遅角点火時期に制御される。これにより、エンドガスの圧力を低下させることができるので、ノッキングの発生を抑制することができる。

40

【0037】

この場合、前記ノッキング抑制手段は、前記点火遅角制御期間のうちの前記開始時点から前記第1時点以降の第2時点までの期間中、前記遅角点火時期を第1の遅角点火時期に設定するとともに、同点火遅角制御期間のうちの同第2時点以降の期間中、同遅角点火時期を同第1の遅角点火時期よりも進角側の第2の遅角点火時期に設定するように構成されることが好適である。

【0038】

これによれば、ノッキング判定時点から上記第2時点までの期間中、実際の点火時期は

50

十分に遅角側の第1の遅角点火時期に制御される。これにより、ノッキングが発生する可能性が低減される。従って、実際の機械圧縮比を負荷に基づいて決定される機械圧縮比に早期に近づけてもノッキングの発生を抑制することができる。即ち、ノッキングを抑制しながら実際の機械圧縮比を負荷に基づいて決定される機械圧縮比により早期に近づけることができるので、燃費を向上させることができる。

【0039】

その後、第2時点以降の期間においては、冷却効率が十分に高められることにより燃焼室壁面の温度が十分に低下する。従って、上記構成のように、実際の点火時期を第1の遅角点火時期よりも進角側の第2の遅角点火時期に制御することにより、点火時期が点火遅角制御期間のすべてにわたり第1の遅角点火時期に制御される場合と比較して燃費を向上させることができる。

10

【0040】

この場合、前記ノッキング抑制手段は、前記点火遅角制御期間の終了時点の前記低圧縮比制御期間の終了時点以降の時点に設定することが好適である。

【0041】

これによれば、第2期間が終了した後（すなわち、低圧縮比制御期間が終了した後）に点火遅角制御期間が終了する。従って、実際の機械圧縮比が負荷に基づいて決定される機械圧縮比よりも低い機械圧縮比に制御されている間中、実際の点火時期は、遅角点火時期に制御されている。これにより、ノッキングが発生する可能性が低減される。

20

【0042】

従って、実際の機械圧縮比を負荷に基づいて決定される機械圧縮比に早期に近づけてもノッキングの発生を回避することができる。即ち、ノッキングの発生を抑制しながら実際の機械圧縮比を負荷に基づいて決定される機械圧縮比により早期に近づけることができるので、燃費を向上させることができる。

【0043】

この場合、前記圧縮比制御手段は、前記負荷に基づいて決定される機械圧縮比を同負荷が小さくなるほど高くなる機械圧縮比に設定するとともに、前記ピストンが上死点位置にある時点における前記燃焼室の容積である上死点燃焼室容積に対する排気弁が開弁される時点における同燃焼室の容積の比である実膨張比が同負荷が小さくなるほど高くなるように同排気弁を開弁させ、且つ、同上死点燃焼室容積に対する吸気弁が閉弁される時点における同燃焼室の容積の比である実圧縮比が同負荷にかかわらず略一定に維持されるように同吸気弁を閉弁させることが好適である。

30

【0044】

これによれば、負荷が小さくなるほど実膨張比が高くなる。これにより、混合ガスの燃焼によって生成された燃焼ガスがピストンに対して仕事を行う期間が長くなる。従って、熱効率を高めることができる。この結果、燃費を向上させることができる。

【0045】

更に、実圧縮比は、負荷にかかわらず略一定に維持される。この結果、負荷が小さくなることにより機械圧縮比が高められても、ノッキングが発生する可能性が高くなることを回避することができる。以上により、負荷が比較的小さい領域において、ノッキングの発生を抑制しながら燃費を向上させることができる。

40

【0046】

この場合、前記内燃機関は、複数の気筒を有する多気筒内燃機関であり、
前記圧縮比変更手段は、前記複数の気筒のそれぞれの機械圧縮比を同時に一つの機械圧縮比に変更するように構成され、

前記指標値取得手段は、前記複数の気筒のそれぞれに対する前記指標値を取得するように構成され、

前記冷却手段は、前記冷却効率を前記複数の気筒のそれぞれに対して調整可能に構成され、

50

前記ノッキング抑制手段は、前記複数の気筒のそれぞれに対して取得された前記指標値に基づいて前記ノッキング判定条件が成立しているか否かを判定し、同複数の気筒のうちのいずれかの気筒において同ノッキング判定条件が成立していると判定した場合、同複数の気筒のうちの同ノッキング判定条件が成立している気筒に対する冷却効率を同複数の気筒のうちの他の気筒に対する冷却効率よりも大きく高めるように前記冷却手段を制御するように構成されることが好適である。

【0047】

複数の気筒を有する内燃機関においては、ノッキングは、特定の気筒において繰り返して発生しやすい。従って、上記構成のように、いずれかの気筒においてノッキング判定条件が成立している場合にノッキング判定条件が成立している気筒の冷却効率を他の気筒の冷却効率よりも大きく高めれば、ノッキング判定条件が成立している気筒においてノッキングが発生することを抑制することができる。換言すると、各気筒においてノッキングが発生する可能性を略一致させることができるので、機関全体の機械圧縮比をノッキングが発生しやすい一部の気筒の存在により高められない事態を回避することができる。

【発明を実施するための最良の形態】

【0048】

<第1実施形態>

<<構成>>

以下、本発明に係る内燃機関の制御装置の各実施形態について図面を参照しながら説明する。図1は、本発明の第1実施形態に係る前記制御装置を火花点火式多気筒（4気筒）内燃機関に適用したシステムの概略構成を示している。なお、図1は、特定気筒の断面のみを示しているが、他の気筒も同様な構成を備えている。

【0049】

この内燃機関10は、図示しない車両に搭載されている。内燃機関10は、シリンダブロック部20と、シリンダヘッド部30と、吸排系統40と、冷却手段の一部を構成する冷却系統50と、を含んでいる。

【0050】

シリンダブロック部20は、可動側部材としてのシリンダブロック21と、固定側部材としてのクランクケース22と、ピストン23と、コンロッド24と、クランク軸25と、を含んでいる。

【0051】

図1及び図1に示した2-2線に沿った平面によりシリンダブロック21を切断した断面の概略図である図2に示したように、シリンダブロック21には、ボア中心軸線方向BCに貫通した円柱状の穴であるシリンダボア21aが複数（本例では、4つ）形成されている。すべてのシリンダボア21aの中心軸線BCは、同一平面（ボア中心軸線配列平面）BDP内に位置している。

【0052】

更に、シリンダブロック21には、冷却手段の一部を構成するブロック側ウォータージャケット21bが形成されている。ブロック側ウォータージャケット21bは、冷却水が通過するための通路である。ブロック側ウォータージャケット21bは、すべてのシリンダボア21aを取り囲むように配置されている。

【0053】

図2に示したように、シリンダブロック21の一つの側面であってボア中心軸線配列平面BDPと平行な側面21cには、ブロック側ウォータージャケット21bに連通する2つの開口部21c1、21c2が形成されている。開口部21c1、21c2は、ボア中心軸線配列平面BDPと平行であり且つボア中心軸線方向BCと直交するボア中心軸線配列方向BDにおける側面21cの両端部のそれぞれの近傍の位置に配置されている。

【0054】

クランクケース22は、車両（車両の車体）に固定されている。クランクケース22は、図1に示したように、ボア中心軸線方向BCにおいてシリンダブロック21と隣り合う

10

20

30

40

50

ように配置されている。クランクケース 22 は、クランク軸 25 を収容するとともに、クランク軸 25 を回転可能に支持している。

【0055】

クランクケース 22 及びシリンダブロック 21 は、シリンダブロック 21 がクランクケース 22 に対してボア中心軸線方向 BC において相対移動可能に構成されている。以下、本明細書においては、シリンダブロック 21 からクランクケース 22 へ向かう方向を下方と称呼し、クランクケース 22 からシリンダブロック 21 へ向かう方向を上方向と称呼する。

【0056】

ピストン 23 は、シリンダボア 21a に収容されている。ピストン 23 は、シリンダボア 21a 内を往復動し、ピストン 23 の往復動がコンロッド 24 を介してクランク軸 25 に伝達され、これによりクランク軸 25 が回転するようになっている。

【0057】

更に、シリンダブロック部 20 は、圧縮比変更手段としての圧縮比変更装置 26 と、圧縮比制御装置 27 と、を備えている。この機構の詳細はよく知られていて、例えば、特開 2003-206771 号公報及び特開 2007-056837 号公報等に記載されている。従って、本明細書においてはこの機構の詳細な説明を省略し、概要についてのみ述べる。

【0058】

圧縮比変更装置 26 は、シリンダブロック 21 とクランクケース 22 とを連結するとともに、圧縮比制御装置 27 によって駆動されることにより、シリンダブロック 21 をクランクケース 22 に対してボア中心軸線方向 BC において相対移動させることによってシリンダブロック 21 とクランクケース 22 との間のボア中心軸線方向 BC における距離を変更するようになっている。

【0059】

シリンダヘッド部 30 は、シリンダブロック 21 の上部に固定されている。このような構成により、シリンダボア 21a を構成する壁面（ボア壁面）、ピストン 23 のヘッド及びシリンダヘッド部 30 の下面は、燃焼室 CC を形成している。更に、圧縮比変更装置 26 により、シリンダブロック 21 がクランクケース 22 に対してボア中心軸線方向 BC において相対移動させられることによって内燃機関 10 の機械圧縮比が変更される。ここで、内燃機関 10 の機械圧縮比は、ピストン 23 の往復動に伴って変化する燃焼室 CC の容積の最小値に対する最大値の比である。即ち、複数の気筒のそれぞれの機械圧縮比は、同時に一つの機械圧縮比に変更される。

【0060】

シリンダヘッド部 30 は、燃焼室 CC に連通した吸気ポート 31、吸気ポート 31 を開閉する吸気弁 32、吸気弁 32 を駆動するインテークカムシャフトを含むとともに同インテークカムシャフトの位相角を連続的に変更する可変吸気タイミング装置 32a、可変吸気タイミング装置 32a のアクチュエータ 32b、燃焼室 CC に連通した排気ポート 33、排気ポート 33 を開閉する排気弁 34、排気弁 34 を駆動するエキゾーストカムシャフト 34a、高電圧が加えられることにより燃焼室 CC 内に火花を発生する点火プラグ 35、点火プラグ 35 に与える高電圧を発生するイグニッションコイルを含むイグナイタ 36 及び指示信号に応答して燃焼室 CC 内に供給するための燃料を吸気ポート 31 内に噴射するインジェクタ 37 を備えている。なお、点火プラグ 35 及びイグナイタ 36 は、燃焼室 CC 内に形成された混合ガスに点火する点火手段を構成している。

【0061】

シリンダヘッド部 30 には、冷却手段の一部を構成するヘッド側ウォータージャケット 30a が形成されている。ヘッド側ウォータージャケット 30a は、冷却水が通過するための通路である。ヘッド側ウォータージャケット 30a は、すべての気筒の燃焼室 CC を取り囲むように配置されている。ヘッド側ウォータージャケット 30a は、複数の位置にてブロック側ウォータージャケット 21b と連通している。

10

20

30

40

50

【0062】

吸排系統40は、インテークマニホールド41と、エキゾーストマニホールド42と、を含んでいる。

インテークマニホールド41は、シリンダヘッド部30に固定されている。インテークマニホールド41には、各気筒の吸気ポート31のそれぞれに連通する独立した複数の通路が形成されている。インテークマニホールド41は、内燃機関10の外部から取り込んだ空気をシリンダブロック部20に導入する図示しない吸気管に接続されている。

【0063】

エキゾーストマニホールド42は、シリンダヘッド部30に固定されている。エキゾーストマニホールド42には、各気筒の排気ポート33のそれぞれに連通する独立した複数の通路が形成されている。エキゾーストマニホールド42は、シリンダブロック部20から排出された排ガスを内燃機関10の外部に放出するための図示しない排気管に接続されている。

10

【0064】

冷却系統50は、図2に示したように、循環用配水管51と、分岐用配水管52と、電動式のウォーターポンプ53と、ラジエータ54と、を備えている。

【0065】

循環用配水管51の一端は、循環用配水管51の内部空間が開口部21c1を介してブロック側ウォータージャケット21bと連通するように、シリンダブロック21に接続されている。

20

【0066】

循環用配水管51の他端は、循環用配水管51の内部空間とブロック側ウォータージャケット21bとが連通するように、開口部21c3を介してシリンダブロック21に接続されている。開口部21c3は、ボア中心軸線方向BCに直交する平面によりシリンダブロック21を切断した断面視において開口部21c1に最も近いシリンダブロック21の角部に対して対角に位置するシリンダブロック21の角部に設けられている。

【0067】

分岐用配水管52の一端は、分岐用配水管52の内部空間が循環用配水管51の内部空間と連通するように、開口部21c1の近傍において循環用配水管51に接続されている。分岐用配水管52の他端は、分岐用配水管52の内部空間が開口部21c2を介してブロック側ウォータージャケット21bと連通するように、シリンダブロック21に接続されている。

30

【0068】

ウォーターポンプ53は、分岐用配水管52が循環用配水管51に接続された位置よりもシリンダブロック21に対する上流側の位置にて循環用配水管51に配設されている。ウォーターポンプ53は、図示しない電源に接続されていて、その電源から電力が供給されるようになっている。

【0069】

ウォーターポンプ53は、回転軸を含むモータ53a及び回転子53bを含んでいる。モータ53aは、供給される電力が大きくなるほど、回転軸を大きなトルクにて回転させるようになっている。回転子53bは、回転軸と一体的に回転するようになっている。回転子53bは、複数の羽根53b1を有している。ウォーターポンプ53は、回転子53bが回転することにより、羽根53b1によって冷却水を圧縮して送り出すようになっている。このような構成により、ウォーターポンプ53は、回転子53bの回転速度が高くなるほど多くなる量の冷却水を送り出す。

40

【0070】

ウォーターポンプ53は、クランクケース22と同様に、車両に固定されている。即ち、ウォーターポンプ53は、圧縮比変更装置26による機械圧縮比の変更に伴って固定側部材としてのクランクケース22に対して相対移動しない部材（車両）に固定されている。なお、ウォーターポンプ53は、クランクケース22に固定されていてもよい。

50

【0071】

これにより、機械圧縮比を変更する際に移動させられるシリンダブロック部20にウォーターポンプ53が固定された場合と比較して、機械圧縮比を変更する際に移動させる部材の重量を小さくすることができる。従って、機械圧縮比を変更するために部材を移動させることにより消費されるエネルギーを低減することができる。この結果、燃費を向上させることができる。

【0072】

ラジエータ54は、ウォーターポンプ53よりもシリンダブロック21に対する上流側の位置にて循環用配水管51に配設されている。ラジエータ54は、循環用配水管51内の冷却水の熱を大気中に放出することにより冷却水を冷却するようになっている。

10

【0073】

このような構成により、ブロック側ウォータージャケット21b、ヘッド側ウォータージャケット30a及び冷却系統50を冷却水が循環する。従って、ブロック側ウォータージャケット21b及びヘッド側ウォータージャケット30a内の冷却水が燃焼室CCを形成する壁面（燃焼室壁面、例えば、ボア壁面やシリンダヘッド部30の下面）から熱エネルギーを受け取り燃焼室壁面が冷却水によって冷却される。

【0074】

更に、冷却系統50は、バイパス用配水管55と、バイパス流量調整弁55aと、を備えている。

バイパス用配水管55の一端は、ラジエータ54の上流にて循環用配水管51に接続され、他端はラジエータ54の下流にて循環用配水管51に接続されている。即ち、バイパス用配水管55は、循環用配水管51内の冷却水がラジエータ54をバイパスする（迂回する）ための通路を形成している。

20

【0075】

バイパス流量調整弁55aは、サーモスタット式の弁である。バイパス流量調整弁55aは、図示しないバルブ開度を変更されることにより、ラジエータ54へ流入する冷却水量と、ラジエータ54をバイパス（迂回）する冷却水量と、を調整するようになっている。バイパス流量調整弁55aは、その周囲を流れる冷却水の温度が高くなるほどバルブ開度を小さくするようになっている。このような構成により、バイパス流量調整弁55aは、冷却水の温度が高くなるほど多くなる量の冷却水をラジエータ54へ流入させることにより、冷却水の温度（冷却水温度） T_w を略一定に維持する。

30

【0076】

一方、このシステムは、図1に示したように、冷却水温度センサ61、指標値取得手段としてのノックセンサ62、クランクポジションセンサ63、カムポジションセンサ64、ポンプ回転速度センサ65、アクセル開度センサ66及び電気制御装置70を備えている。

【0077】

冷却水温度センサ61は、ブロック側ウォータージャケット21b内の冷却水の温度（冷却水温度） T_w を検出し、冷却水温度 T_w を表す信号を出力するようになっている。

ノックセンサ62は、ノッキングの発生に係る指標値としてのシリンダブロック部20の振動 V_c を検出し、振動 V_c を表す信号を出力するようになっている。

40

【0078】

クランクポジションセンサ63は、クランク軸25が 10° 回転する毎に生じる幅狭のパルス有するとともに同クランク軸25が 360° 回転する毎に生じる幅広のパルス有する信号を出力するようになっている。この信号は、エンジン回転速度 N_E を表す。

カムポジションセンサ64は、インテークカムシャフトが 90° 回転する毎に（即ち、クランク軸25が 180° 回転する毎に）生じるパルス有する信号（G2信号）を出力するようになっている。

【0079】

ポンプ回転速度センサ65は、ウォーターポンプ53の回転子53bが 360° 回転す

50

る毎に信号を出力するようになっている。この信号は、ポンプ回転速度 NP_a を表す。

アクセル開度センサ 66 は、運転者によって操作されるアクセルペダル AP の操作量 $Accp$ を検出し、アクセルペダル AP の操作量（アクセルペダル操作量） $Accp$ を表す信号を出力するようになっている。

【0080】

電気制御装置 70 は、互いにバスにより接続された CPU 71、CPU 71 が実行するプログラム、テーブル（ルックアップテーブル、マップ）、定数等を予め記憶した ROM 72、CPU 71 が必要に応じてデータを一時的に記憶する RAM 73、電源が投入された状態にてデータを記憶するとともに同記憶したデータを電源が遮断されている間も保持するバックアップ RAM 74 及び AD コンバータを含むインターフェース 75 等からなるマイクロコンピュータである。インターフェース 75 は、前記センサ 61～66 と接続され、CPU 71 にセンサ 61～66 からの信号を供給するとともに、CPU 71 の指示に応じて圧縮比制御装置 27、可変吸気タイミング装置 32a のアクチュエータ 32b、イグナイタ 36、インジェクタ 37、及び、ウォーターポンプ 53 に駆動信号（指示信号）を送出するようになっている。

10

【0081】

<<作動の概要>>

次に、上記のように構成された内燃機関の制御装置の作動の概要について説明する。

この制御装置は、ノックセンサ 62 により出力される電圧信号 V_c に基づいてノッキングが発生したか否かを判定する。制御装置は、ノッキングが発生した場合、ポンプ回転速度 NP を高めるようにウォーターポンプ 53 を制御する。更に、制御装置は、ノッキングが発生した時点を開始時点とする所定の低圧縮比制御期間において、実際の機械圧縮比を内燃機関 10 の負荷に基づいて決定される機械圧縮比よりも低い機械圧縮比に制御する。これにより、エンドガスの圧力が低下する。この結果、ノッキングの発生を抑制することができる。

20

【0082】

その後、実際のポンプ回転速度 NP が高くなる。これにより、ウォーターポンプ 53 から送り出される冷却水の流量が増加するので、冷却水が燃焼室壁面から受け取る単位時間あたりの熱エネルギーの大きさを表す冷却効率が高められる。これにより、燃焼室壁面の温度が低下する。その結果、エンドガスの温度が低下するので、ノッキングの発生が抑制される。

30

【0083】

そして、制御装置は、低圧縮比制御期間が終了すると、実際の機械圧縮比を内燃機関 10 の負荷に基づいて決定される機械圧縮比に戻す。このように、この制御装置によれば、機械圧縮比が負荷に基づいて決定される機械圧縮比よりも低い機械圧縮比に制御され続けることを回避しながらノッキングの発生を抑制することができる。即ち、燃費向上が阻害されることを回避しながらノッキングの発生を抑制することができる。

【0084】

<<作動の詳細>>

次に、電気制御装置 70 の実際の作動について、図 3～図 9 を参照しながら説明する。

【0085】

（制御量決定）

電気制御装置 70 の CPU 71 は、図 3 にフローチャートにより示した制御量決定ルーチンを各気筒の膨張行程が終了する（即ち、クランク軸 25 が 180° だけ回転する）毎に実行するようになっている。

【0086】

従って、所定のタイミングになると、CPU 71 は、ステップ 300 から処理を開始してステップ 305 に進み、アクセル開度センサ 66 により検出されたアクセルペダル操作

40

50

量Accpを読み込むとともに、続くステップ310にてクランクポジションセンサ63により検出されたエンジン回転速度NEを読み込む。本例では、アクセルペダル操作量Accpは、内燃機関10の負荷を表す。なお、内燃機関10の負荷は、アクセルペダル操作量Accpとエンジン回転速度NEとに基づいて決定される要求トルクであってもよい。

【0087】

次いで、CPU71は、ステップ315に進んで、冷却水温度センサ61により検出された冷却水温度Twを読み込む。そして、CPU71は、ステップ320に進んでアクセルペダル操作量Accp及びエンジン回転速度NEと点火時期 ϕ との関係を規定するテーブルMap ϕ 、上記ステップ305にて読み込まれたアクセルペダル操作量Accp及び上記ステップ310にて読み込まれたエンジン回転速度NEに基づいて点火時期 ϕ （ここでは、 $\phi = \phi 1$ ）を決定する。なお、ステップ320の処理が実行されることは、点火時期制御手段の機能の一部が達成されることに対応している。

10

【0088】

ここで、テーブルMap ϕ は、任意の運転状態の下でこのテーブルMap ϕ に基づいて求められる点火時期 ϕ が任意の点火時期のうちの熱効率を最高とする点火時期となるように予め設定されている。なお、点火時期 ϕ は、BTDCにより表される。BTDCは、気筒毎に定義されている。BTDCは、各気筒における圧縮上死点(TDC)を原点としクランク軸25の回転方向と逆方向を正にとったクランク軸25の回転角度(クランク角度)である。

【0089】

20

また、以下の説明において、MapX(a,b)と表記されるテーブルは、変数a及び変数bと値Xとの関係を規定するテーブルを意味することとする。また、値XをテーブルMapX(a,b)に基づいて求めるとは、値Xを現時点の変数a及び現時点の変数bと、テーブルMapX(a,b)と、に基づいて求める(決定する)ことを意味することとする。なお、変数は1つであってもよく3つ以上であってもよい。

【0090】

そして、CPU71は、ステップ325に進んでテーブルMap ε (Accp,NE)に基づいて機械圧縮比 ε （ここでは、 $\varepsilon = \varepsilon 1$ ）を決定する。ここで、テーブルMap ε は、図4に示したように、このテーブルMap ε に基づいて求められる機械圧縮比 ε が、アクセルペダル操作量Accpが大きくなるほど低くなるように、予め設定されている。なお、ステップ325

30

【0091】

次いで、CPU71は、ステップ330に進んでテーブルMapNP(Accp,NE,Tw)に基づいてポンプ回転速度NP（ここでは、 $NP = NP 1$ ）を決定する。ここで、テーブルMapNPは、このテーブルMapNPに基づいて求められるポンプ回転速度NPが冷却水温度Twが高くなるほど高くなるとともにアクセルペダル操作量Accpが大きくなるほど高くなるように予め設定されている。

【0092】

その後、CPU71は、ステップ335に進んでテーブルMap τ (Accp,NE)に基づいて燃料噴射量 τ を決定する。ここで、テーブルMap τ は、このテーブルMap τ に基づいて求められる燃料噴射量 τ がアクセルペダル操作量Accpが大きくなるほど多くなるように予め設定されている。そして、CPU71はステップ399に進んで本ルーチンを一旦終了する。

40

【0093】

(ノッキング判定)

更に、CPU71は、図5にフローチャートにより示したノッキング判定ルーチンを、制御量決定ルーチンに続いて実行するようになっている。なお、図5のルーチンの処理が実行されることは、ノッキング抑制手段の機能の一部が達成されることに対応している。

【0094】

従って、制御量決定ルーチンの実行が終了すると、CPU71は、ステップ500から

50

処理を開始してステップ505に進み、ノックセンサ62により検出されたシリンダブロック部20の振動 V_c に基づいてノッキング強度 SN を算出する。本例では、ノッキング強度 SN は、クランク軸25が180°だけ回転する間（即ち、1つの気筒の膨張行程）におけるシリンダブロック部20の振動 V_c の振幅の最大値である。即ち、CPU71は、複数の気筒のそれぞれに対する上記指標値を取得していると言うことができる。

【0095】

次いで、CPU71は、ステップ510に進んで上記ステップ510にて算出されたノッキング強度 SN が閾値強度 SN_{th} よりも大きいかな否かを判定する。ここで、閾値強度 SN_{th} は、実際にノッキングが発生した場合のノッキング強度 SN よりも僅かに小さい値に予め設定されている。即ち、ステップ510にて判定される条件は、ノッキングが発生したという条件であると言うことができる。なお、この条件は、本明細書において、ノッキング判定条件とも称呼される。

10

【0096】

いま、図6に示したように、何らかの理由により時点 t_1 にてノッキングが発生した場合を想定する。この場合において、先ず、時点 t_1 以前の期間A内の時点から説明する。

【0097】

この時点では、ノッキングが発生していないので、ノッキング強度 SN は、閾値強度 SN_{th} よりも小さい。従って、CPU71は、ステップ510にて「No」と判定してステップ599に直接進み、本ルーチンを一旦終了する。

【0098】

（機械圧縮比補正量算出）

加えて、CPU71は、図7にフローチャートにより示した機械圧縮比補正量算出ルーチンを、ノッキング判定ルーチンに続いて実行するようになっている。なお、図7のルーチンの処理が実行されることは、ノッキング抑制手段の機能の一部が達成されることに対応している。

20

【0099】

従って、ノッキング判定ルーチンの実行が終了すると、CPU71は、ステップ700から処理を開始してステップ705に進み、機械圧縮比補正フラグ X_ε の値が「1」であるかな否かを判定する。

【0100】

ここで、機械圧縮比補正フラグ X_ε は、上記ステップ325にて決定される機械圧縮比 ε を補正するかな否かを表すフラグであって、その値が「1」であれば機械圧縮比 ε を補正し、「0」であれば補正しないことを示す。機械圧縮比補正フラグ X_ε の値は、後述するように、ノッキングが発生したと判定された場合に「1」に設定され（ステップ545を参照。）、実際のポンプ回転速度（ポンプ回転速度センサ65により検出されるポンプ回転速度） NP_a が上記ステップ330にて決定されるポンプ回転速度 NP に一致した場合に「0」に設定される（ステップ740を参照。）。なお、内燃機関10の始動時に、機械圧縮比補正フラグ X_ε の値は「0」に設定される。

30

【0101】

この状態においては、ノッキングが発生していないので、機械圧縮比補正フラグ X_ε の値は「0」のままである。従って、CPU71は、ステップ705にて「No」と判定してステップ710に進み、機械圧縮比補正量 $\Delta\varepsilon$ の値を「0」に設定する。次いで、CPU71は、ステップ799に直接進んで本ルーチンを一旦終了する。

40

【0102】

（点火時期補正量算出）

更に、CPU71は、図8にフローチャートにより示した点火時期補正量算出ルーチンを、機械圧縮比補正量算出ルーチンに続いて実行するようになっている。なお、図8のルーチンの処理が実行されることは、ノッキング抑制手段の機能の一部が達成されることに対応している。

【0103】

50

従って、機械圧縮比補正量算出ルーチンの実行が終了すると、CPU 71は、ステップ800から処理を開始してステップ805に進み、点火時期補正フラグXφの値が「1」であるか否かを判定する。

【0104】

ここで、点火時期補正フラグXφは、上記ステップ320にて決定される点火時期φを補正するか否かを表すフラグであって、その値が「1」又は「2」であれば点火時期φを補正し、「0」であれば補正しないことを示す。点火時期補正フラグXφの値は、後述するように、ノッキングが発生したと判定された場合に「1」に設定され（ステップ540を参照。）、タイミング制御用変数Kεが所定の閾値Kεthとなった場合に「2」に設定され（ステップ835を参照。）、点火時期φに対する点火時期補正量Δφが「0」となった場合に「0」に設定される（ステップ860を参照。）。なお、内燃機関10の始動時に、点火時期補正フラグXφの値は「0」に設定される。

10

【0105】

この状態においては、ノッキングが発生していないので、点火時期補正フラグXφの値は「0」のままである。従って、CPU 71は、ステップ805にて「No」と判定してステップ810に進み、点火時期補正フラグXφの値が「2」であるか否かを判定する。そして、CPU 71は、ステップ810にて「No」と判定してステップ815に進み、点火時期補正量Δφの値を「0」に設定する。次いで、CPU 71は、ステップ899に直接進んで本ルーチンを一旦終了する。

【0106】

20

（制御量補正）

加えて、CPU 71は、図9にフローチャートにより示した制御量補正ルーチンを、点火時期補正量算出ルーチンに続いて実行するようになっている。なお、図9のルーチンの処理が実行されることは、ノッキング抑制手段の機能の一部が達成されることに対応している。

【0107】

従って、点火時期補正量算出ルーチンの実行が終了すると、CPU 71は、ステップ900から処理を開始してステップ905に進み、上記ステップ320にて決定された点火時期φ（この時点では、φ=φ1）から図8の点火時期補正量算出ルーチンにおいて算出された点火時期補正量Δφ（この時点では、Δφ=0）を減じた値φ-Δφに点火時期φを設定することにより点火時期φを補正する。但し、この時点では、Δφ=0であるので、点火時期φは実質的に補正されない。

30

【0108】

次いで、CPU 71は、ステップ910に進んで上記ステップ325にて決定された機械圧縮比ε（この時点では、ε=ε1）から図7の機械圧縮比補正量算出ルーチンにおいて算出された機械圧縮比補正量Δε（この時点では、Δε=0）を減じた値ε-Δεに機械圧縮比εを設定することにより機械圧縮比εを補正する。但し、この時点では、Δε=0であるので、機械圧縮比εは実質的に補正されない。

【0109】

そして、CPU 71は、ステップ915に進んでテーブルMapΔτ(Accp,NE,Δφ,Δε)に基づいて燃料噴射量補正量Δτを決定する。ここで、テーブルMapΔτは、このテーブルMapΔτに基づいて求められる燃料噴射量補正量Δτを上記ステップ335にて決定された燃料噴射量τに加えた量の燃料を噴射することにより内燃機関10が出力するトルクと、点火時期補正量Δφ及び機械圧縮比補正量Δεがともに「0」である場合において上記ステップ335にて決定された燃料噴射量τの燃料を噴射することにより内燃機関10が出力するトルクと、が一致するように予め設定されている。従って、この時点では、Δφ=Δε=0であるので、Δτ=0である。

40

【0110】

次いで、CPU 71は、ステップ920に進んで上記ステップ335にて決定された燃料噴射量τに上記ステップ915にて決定された燃料噴射量補正量Δτ（この時点では、

50

$\Delta \tau = 0$)を加えた値 $\tau + \Delta \tau$ に燃料噴射量 τ を設定することにより燃料噴射量 τ を補正する。但し、この時点では、 $\Delta \tau = 0$ であるので、燃料噴射量 τ は実質的に補正されない。そして、CPU 71はステップ999に進んで本ルーチンを一旦終了する。

【0111】

(ポンプ回転速度制御)

更に、CPU 71は、図示しないポンプ回転速度制御ルーチンを、制御量補正ルーチンに続いて実行するようになっている。従って、制御量補正ルーチンの実行が終了すると、CPU 71は、実際のポンプ回転速度 NP_a を設定されたポンプ回転速度 NP (この時点では、 $NP = NP_1$)に一致させるための駆動指示信号をウォーターポンプ53に送信することにより、ウォーターポンプ53に供給される電力を制御する。なお、このポンプ回転速度制御ルーチンの処理が実行されることは、ノッキング抑制手段の機能の一部が達成されることに対応している。

10

【0112】

(機械圧縮比制御)

加えて、CPU 71は、図示しない機械圧縮比制御ルーチンを、ポンプ回転速度制御ルーチンに続いて実行するようになっている。従って、ポンプ回転速度制御ルーチンの実行が終了すると、CPU 71は、実際の機械圧縮比を上記ステップ910にて設定された機械圧縮比 ε (この時点では、 $\varepsilon = \varepsilon_1$)に一致させるための駆動指示信号を圧縮比制御装置27に送信する。なお、機械圧縮比制御ルーチンの処理が実行されることは、圧縮比制御手段の機能の一部及びノッキング抑制手段の機能の一部が達成されることに対応している。

20

【0113】

(点火時期制御)

また、CPU 71は、図示しない点火時期制御ルーチンをクランク軸25が所定の微小な角度だけ回転する毎に気筒毎に独立に実行するようになっている。従って、所定のタイミングになると、CPU 71は、第 n 気筒(n は、1、2、3及び4)のクランク角度が上記ステップ905にて設定された点火時期 ϕ (この時点では、 $\phi = \phi_1$)であるか否かを判定し、第 n 気筒のクランク角度がその点火時期 ϕ であると判定された場合には火花を発生させるための指示信号を第 n 気筒のイグナイタ36に送信する。なお、点火時期制御ルーチンの処理が実行されることは、点火時期制御手段の機能の一部及びノッキング抑制手段の機能の一部が達成されることに対応している。

30

【0114】

(燃料噴射制御)

更に、CPU 71は、図示しない燃料噴射制御ルーチンをクランク軸25が所定の微小な角度だけ回転する毎に気筒毎に独立に実行するようになっている。従って、所定のタイミングになると、CPU 71は、第 n 気筒のクランク角度が所定の燃料噴射開始時期であるか否かを判定し、第 n 気筒のクランク角度がその燃料噴射開始時期であると判定された場合には上記ステップ920にて補正された燃料噴射量 τ の燃料を噴射させるための指示信号を第 n 気筒のインジェクタ37に送信する。

【0115】

(ノッキング判定時点)

その後、時点 t_1 になると、ノッキングが発生する。従って、ノッキング強度 SN は、閾値強度 SN_{th} よりも大きくなる。従って、この時点にてCPU 71が図5のノッキング判定ルーチンの処理を開始してステップ510に進んだとき、CPU 71は、ステップ510にて「Yes」と判定してステップ515に進む。なお、本明細書において、このノッキングが発生したと判定された時点(即ち、ノッキング判定条件が成立していると判定された時点) t_1 は、ノッキング判定時点とも呼ばれる時点である。

40

【0116】

CPU 71は、ステップ515にてテーブルMap $\Delta \phi_0$ (Accp,NE)に基づいて点火時期補正基本量 $\Delta \phi_0$ を決定する。ここで、テーブルMap $\Delta \phi_0$ は、このテーブルMap $\Delta \phi_0$ に基づ

50

いて求められる点火時期補正基本量 $\Delta \phi 0$ が正の値となるように予め設定されている。

【0117】

次いで、CPU 71 は、ステップ 520 に進んでテーブル Map $\Delta \varepsilon 0$ (Accp, NE) に基づいて機械圧縮比補正基本量 $\Delta \varepsilon 0$ を決定する。ここで、テーブル Map $\Delta \varepsilon 0$ は、このテーブル Map $\Delta \varepsilon 0$ に基づいて求められる機械圧縮比補正基本量 $\Delta \varepsilon 0$ が正の値となるように予め設定されている。

【0118】

そして、CPU 71 は、ステップ 525 に進んでテーブル Map ΔNP (Accp, NE, Tw) に基づいてポンプ回転速度補正量 ΔNP を決定する。ここで、テーブル Map ΔNP は、このテーブル Map ΔNP に基づいて求められるポンプ回転速度補正量 ΔNP が正の値となるように予め設定されている。

10

【0119】

次いで、CPU 71 は、ステップ 530 に進んで上記ステップ 330 にて決定されたポンプ回転速度 NP に上記ステップ 525 にて決定されたポンプ回転速度補正量 ΔNP を加えた値 $NP + \Delta NP (= NP2)$ にポンプ回転速度 NP を設定することによりポンプ回転速度 NP を補正する。

【0120】

そして、CPU 71 は、ステップ 535 に進んで、上記ステップ 305 ～ステップ 315 にて読み込まれたアクセルペダル操作量 Accp、エンジン回転速度 NE 及び冷却水温度 Tw と、上記テーブル Map NP と、に基づいて求められるポンプ回転速度 NP が、上記ステップ 530 にて算出されたポンプ回転速度 NP ($= NP2$) と一致するようにそのテーブル Map NP を更新する。

20

【0121】

その後、CPU 71 は、ステップ 540 に進んで点火時期補正フラグ X ϕ の値を「1」に設定し、続くステップ 545 にて機械圧縮比補正フラグ X ε の値を「1」に設定する。次いで、CPU 71 は、ステップ 550 に進んでタイマ T の値を「0」に設定することにより現時点から経過する時間（点火時期補正フラグ X ϕ の値及び機械圧縮比補正フラグ X ε の値のそれぞれが「0」から「1」へ変更されてから経過した時間、即ち、ノッキングが発生したと判定されてから経過した時間）の計測を開始する。そして、CPU 71 は、ステップ 599 に進んで本ルーチンを一旦終了する。

30

【0122】

この状態において、CPU 71 が図 7 の機械圧縮比補正量算出ルーチンの処理を開始してステップ 705 に進んだとき、CPU 71 は、ステップ 705 にて「Yes」と判定してステップ 715 に進む。CPU 71 は、ステップ 715 にてポンプ回転速度センサ 65 により検出されたポンプ回転速度 NP a を読み込む。

【0123】

次いで、CPU 71 は、ステップ 720 に進んで上記ステップ 530 にて設定されたポンプ回転速度 NP（この時点では、 $NP = NP2$ ）から上記ステップ 715 にて読み込まれたポンプ回転速度 NP a を減じた値 ($NP - NP a$) を上記ステップ 525 にて決定されたポンプ回転速度補正量 ΔNP により除した値 ($(NP - NP a) / \Delta NP$) をポンプ回転速度不一致率 R NP として算出する。即ち、ポンプ回転速度不一致率 R NP は、実際のポンプ回転速度 NP a が上記ステップ 530 にて設定されたポンプ回転速度 NP と相違している程度を表す値であって、その値が「0」に近づくほど両者の差が小さいことを表す。

40

【0124】

その後、CPU 71 は、ステップ 725 に進んで上記ステップ 720 にて算出されたポンプ回転速度不一致率 R NP が正の値であるか否かを判定する。この時点では、値 $NP - NP a$ はポンプ回転速度補正量 ΔNP と等しいので、ポンプ回転速度不一致率 R NP は「1」である。

【0125】

従って、CPU 71 は、ステップ 725 にて「Yes」と判定してステップ 730 に進

50

み、上記ステップ520にて決定された機械圧縮比補正基本量 $\Delta \varepsilon_0$ に上記ステップ720にて算出されたポンプ回転速度不一致率 RNP を乗じた値 $RNP \cdot \Delta \varepsilon_0$ を機械圧縮比補正量 $\Delta \varepsilon$ （この時点では、 $\Delta \varepsilon = \Delta \varepsilon_0$ ）として算出する。そして、CPU71はステップ799に進んで本ルーチンを一旦終了する。

【0126】

加えて、CPU71が図8の点火時期補正量算出ルーチンの処理を開始してステップ805に進んだとき、CPU71は、ステップ805にて「Yes」と判定してステップ820に進む。

【0127】

CPU71は、ステップ820にて点火時期補正量 $\Delta \phi$ を上記ステップ515にて決定された点火時期補正基本量 $\Delta \phi_0$ に設定する。次いで、CPU71は、ステップ825に進んで図7の機械圧縮比補正量算出ルーチンにおいて算出された機械圧縮比補正量 $\Delta \varepsilon$ を上記ステップ520にて決定された機械圧縮比補正基本量 $\Delta \varepsilon_0$ により除した値 $\Delta \varepsilon / \Delta \varepsilon_0$ をタイミング制御用変数 K_ε （この時点では、 $K_\varepsilon = 1$ ）として算出する。

【0128】

なお、本例では、タイミング制御用変数 K_ε はポンプ回転速度不一致率 RNP と一致する（ $K_\varepsilon = \Delta \varepsilon / \Delta \varepsilon_0 = RNP \cdot \Delta \varepsilon_0 / \Delta \varepsilon_0 = RNP$ ）。従って、実際のポンプ回転速度 NPa が上記ステップ330又はステップ530にて設定されたポンプ回転速度 NP （ここでは、 $NP = NP2$ ）に近づくにつれて、ポンプ回転速度不一致率 RNP が小さくなるのでタイミング制御用変数 K_ε も小さくなる。

【0129】

そして、CPU71は、ステップ830に進んで上記ステップ825にて算出されたタイミング制御用変数 K_ε が予め設定された閾値 $K_{\varepsilon th}$ （本例では、0.4）以下であるか否かを判定する。

【0130】

この時点では、機械圧縮比補正量 $\Delta \varepsilon$ が機械圧縮比補正基本量 $\Delta \varepsilon_0$ と等しいので、タイミング制御用変数 K_ε は「1」である。従って、CPU71は、ステップ830にて「No」と判定してステップ899に直接進み本ルーチンを一旦終了する。

【0131】

加えて、CPU71が図9の制御量補正ルーチン、機械圧縮比制御ルーチン及び点火時期制御ルーチンを実行することにより、実際の点火時期が内燃機関10の負荷に基づいて決定される点火時期 ϕ_1 よりも点火時期補正基本量 $\Delta \phi_0$ だけ遅角された点火時期 ϕ_2 に制御される（ステップ515及びステップ820を参照。）。更に、実際の機械圧縮比が内燃機関10の負荷に基づいて決定される機械圧縮比 ε_1 よりも機械圧縮比補正基本量 $\Delta \varepsilon_0$ だけ低い機械圧縮比 ε_2 に制御される（ステップ520及びステップ720～ステップ730を参照。）。

【0132】

このような状況は、タイミング制御用変数 K_ε が閾値 $K_{\varepsilon th}$ よりも大きい限り継続する。この状況においては、時間の経過に伴って、実際のポンプ回転速度 NPa は上記設定されたポンプ回転速度 NP （ $= NP2$ ）へ向かって徐々に高くなる。これにより、冷却水の流量が増加する。この結果、冷却効率が高められるので、燃焼室壁面の温度が低下する。

【0133】

更に、図7のステップ720及びステップ730の処理が繰り返して実行される。従って、実際のポンプ回転速度 NPa が上記設定されたポンプ回転速度 NP （ $= NP2$ ）に近づくほど、ポンプ回転速度不一致率 RNP は低下し、その結果、機械圧縮比補正量 $\Delta \varepsilon$ も小さくなる。換言すると、実際のポンプ回転速度 NPa が上記設定されたポンプ回転速度 NP （ $= NP2$ ）に近づくにつれて機械圧縮比 ε は、内燃機関10の負荷に基づいて決定される機械圧縮比 ε_1 に近づくように高められる。

【0134】

10

20

30

40

50

ところで、冷却効率は実際のポンプ回転速度 NP_a が高くなるほど高くなる。従って、実際のポンプ回転速度 NP_a が高くなるほどノッキングが発生する可能性は低くなる。従って、このように、実際のポンプ回転速度 NP_a が高くなるほど機械圧縮比 ε を高くすることにより、ノッキングの発生を抑制しながら可能な限り燃費を向上させることができる。

【0135】

一方、点火時期補正量 $\Delta\phi$ は点火時期補正基本量 $\Delta\phi_0$ に維持され続ける。即ち、実際の点火時期は内燃機関10の負荷に基づいて決定される点火時期 ϕ_1 よりも点火時期補正基本量 $\Delta\phi_0$ だけ遅角された点火時期 ϕ_2 に制御され続ける。

【0136】

このとき、機械圧縮比 ε が内燃機関10の負荷に基づいて決定された機械圧縮比 ε_1 に近づいていくので、タイミング制御用変数 $K\varepsilon$ は減少する。

【0137】

そして、時点 t_2 になると、タイミング制御用変数 $K\varepsilon$ は、閾値 $K\varepsilon_{th}$ に一致する。従って、この時点 t_2 にてCPU71が図8の点火時期補正量算出ルーチンの処理を開始してステップ830に進んだとき、CPU71は、ステップ830にて「Yes」と判定してステップ835に進む。CPU71は、ステップ835にて点火時期補正フラグ $X\phi$ の値を「2」に設定する。

【0138】

次いで、CPU71は、ステップ840に進んで点火時期維持期間 $T\phi$ を現時点のタイム T の値に設定する。即ち、点火時期維持期間 $T\phi$ は、実際の点火時期が内燃機関10の負荷に基づいて決定された点火時期 ϕ_1 を点火時期補正基本量 $\Delta\phi_0$ だけ遅角させた点火時期 ϕ_2 に維持されていた時間を表す。そして、CPU71は、ステップ899に進んで本ルーチンを一旦終了する。

【0139】

そして、クランク軸25が 180° だけ回転することによりCPU71が再び図8の点火時期補正量算出ルーチンの処理を開始すると、CPU71はステップ805に進んだとき、ステップ805にて「No」と判定してステップ810に進む。

【0140】

そして、CPU71は、点火時期補正フラグ $X\phi$ の値が「2」であるか否かを判定するステップ810にて「Yes」と判定してステップ845に進み、点火時期補正量 $\Delta\phi$ を下記(1)式に基づいて算出する。

$$\Delta\phi = (L\phi \cdot T\phi + T\phi - T) \cdot \Delta\phi_0 / (L\phi \cdot T\phi) \quad \cdots(1)$$

【0141】

ここで、 $L\phi$ は所定の係数（本例では、0.9）である。係数 $L\phi$ は、時点 t_1 から時間 $(T\phi + L\phi \cdot T\phi)$ が経過する前に実際のポンプ回転速度 NP_a が上記設定されたポンプ回転速度 $NP (= NP_2)$ に一致する値に予め設定されている。上記(1)式に基づいて算出される点火時期補正量 $\Delta\phi$ は、図6から理解されるように、経過した時間に比例して減少する量であって、点火時期維持期間 $T\phi$ に係数 $L\phi$ を乗じた時間 $L\phi \cdot T\phi$ をかけて点火時期補正基本量 $\Delta\phi_0$ から「0」へ変化する量である。

【0142】

次いで、CPU71は、ステップ850に進んで点火時期補正量 $\Delta\phi$ が負の値であるか否かを判定する。この時点では、点火時期補正量 $\Delta\phi$ は正の値である。従って、CPU71は、ステップ850にて「No」と判定してステップ899に直接進み本ルーチンを一旦終了する。

【0143】

このように、点火時期補正量 $\Delta\phi$ を減少させる状況は、点火時期補正量 $\Delta\phi$ が「0」となるまで継続する。従って、時間の経過に伴って点火時期補正量 $\Delta\phi$ が減少するので、実際の点火時期も時間の経過に伴って内燃機関10の負荷に基づいて決定される点火時期 ϕ_1 へ徐々に進角させられる。

【0144】

そして、時点 t_3 になると、実際のポンプ回転速度 NP_a が上記ステップ330にて設定されたポンプ回転速度 NP ($=NP_2$) に一致する。即ち、ポンプ回転速度不一致率 RNP は「0」になる。従って、この時点 t_3 にてCPU71が図7の機械圧縮比補正量算出ルーチンの処理を開始してステップ725に進んだとき、CPU71は、ステップ725にて「No」と判定してステップ735に進む。

【0145】

CPU71は、ステップ735にて機械圧縮比補正量 $\Delta\varepsilon$ の値を「0」に設定し、続くステップ740にて機械圧縮比補正フラグ $X\varepsilon$ の値を「0」に設定する。そして、CPU71はステップ799に進んで本ルーチンを一旦終了する。

10

【0146】

そして、クランク軸25が180°だけ回転することによりCPU71が再び図7の機械圧縮比補正量算出ルーチンの処理を開始すると、CPU71はステップ705に進んだとき、ステップ705にて「No」と判定してステップ710に進む。CPU71は、ステップ710にて機械圧縮比補正量 $\Delta\varepsilon$ の値を「0」に設定し、続くステップ799にて本ルーチンを一旦終了する。

このように、機械圧縮比補正量 $\Delta\varepsilon$ が「0」に設定される状況は、再びノッキングが発生するまで継続する。

【0147】

そして、時点 t_2 から時間 $L\phi \cdot T\phi$ が経過した時点 t_4 になると、点火時期補正量 $\Delta\phi$ が「0」となる。従って、この時点 t_4 にてCPU71が図8の点火時期補正量算出ルーチンの処理を開始してステップ850に進んだとき、CPU71は、ステップ850にて「Yes」と判定してステップ855に進む。CPU71は、ステップ855にて点火時期補正量 $\Delta\phi$ の値を「0」に設定し、続くステップ860にて点火時期補正フラグ $X\phi$ の値を「0」に設定する。そして、CPU71はステップ899に進んで本ルーチンを一旦終了する。

20

【0148】

そして、クランク軸25が180°だけ回転することによりCPU71が再び図8の点火時期補正量算出ルーチンの処理を開始すると、CPU71はステップ805及びステップ810に進んだとき、いずれも「No」と判定してステップ815に進む。CPU71は、ステップ815にて点火時期補正量 $\Delta\phi$ の値を「0」に設定し、続くステップ899にて本ルーチンを一旦終了する。

30

このように、点火時期補正量 $\Delta\phi$ が「0」に設定される状況は、再びノッキングが発生するまで継続する。

【0149】

このように、ノッキングが発生したと判定されると、その判定時点 t_1 にてポンプ回転速度 NP を高めるようにウォーターポンプ53が制御される。更に、その判定時点 t_1 からノッキングが発生する前に設定されていたポンプ回転速度 NP_1 よりも高いポンプ回転速度 NP_2 に実際のポンプ回転速度 NP_a が一致する時点 t_3 までの期間（図6における期間B及び期間C）において、実際の機械圧縮比が内燃機関10の負荷に基づいて決定される機械圧縮比 ε_1 よりも低い機械圧縮比に制御される。これにより、エンドガスの圧力が低下する。この結果、ノッキングの発生を抑制することができる。なお、図6における期間Bと期間Cとを合わせた期間は、低圧縮比制御期間とも呼ばれる期間である。

40

【0150】

その後、実際のポンプ回転速度 NP が高くなる。これにより、ウォーターポンプ53から送り出される冷却水の流量が増加するので、冷却効率が高められる。これにより、燃焼室CCを形成する壁面（燃焼室壁面、例えば、ボア壁面やシリンダヘッド部30の下面）の温度が低下する。その結果、エンドガスの温度が低下するので、ノッキングの発生が抑制される。

50

【0151】

そして、時点 t_3 以降の期間（図6における期間D及び期間E）においては、実際の機械圧縮比が内燃機関10の負荷に基づいて決定される機械圧縮比 ε_1 に戻される。これにより、実際の機械圧縮比が負荷に基づいて決定される機械圧縮比 ε_1 よりも低い機械圧縮比に制御され続けることを回避しながらノッキングの発生を抑制することができる。即ち、燃費向上が阻害されることを回避しながらノッキングの発生を抑制することができる。

【0152】

加えて、上記判定時点 t_1 から時点 t_4 までの期間（図6における期間B、期間C及び期間D）においては、実際の点火時期が内燃機関10の負荷に基づいて決定される点火時期 ϕ_1 よりも遅角側の点火時期（遅角点火時期）に制御される。なお、図6における期間Bと期間Cと期間Dとを合わせた期間は、点火遅角制御期間とも呼ばれる期間である。

10

【0153】

これにより、エンドガスの圧力を低下させることができるので、ノッキングの発生を抑制することができる。この結果、上記判定時点 t_1 の直後の期間において実際の機械圧縮比が制御遅れを伴って変化することにより予定されていた機械圧縮比よりも高い機械圧縮比にて内燃機関10が運転されてもノッキングが発生することを抑制することができる。

【0154】

より具体的には、上記判定時点 t_1 からタイミング制御用変数 K_{ε} が減少することにより閾値 $K_{\varepsilon th}$ に一致する時点 t_2 までの期間（図6における期間B）において、実際の点火時期は内燃機関10の負荷に基づいて決定された点火時期 ϕ_1 よりも点火時期補正基本量 $\Delta\phi_0$ だけ遅角された点火時期（第1の遅角点火時期） ϕ_2 にて一定に維持される。なお、タイミング制御用変数 K_{ε} は、ポンプ回転速度不一致率 RNP が減少し始める時点 t_{1a} まで減少しない。従って、時点 t_2 は、実際の機械圧縮比が高められ始める時点 t_{1a} よりも後の時点であり、本明細書において、第2時点とも呼ばれる時点である。

20

【0155】

これにより、実際の機械圧縮比を内燃機関10の負荷に基づいて決定される機械圧縮比 ε_1 に早期に近づけてもノッキングの発生を抑制することができる。即ち、ノッキングを抑制しながら実際の機械圧縮比を内燃機関10の負荷に基づいて決定される機械圧縮比 ε_1 により早期に近づけることができるので、燃費を向上させることができる。

30

【0156】

その後、時点 t_2 以降の期間（図6における期間C及び期間D）においては、実際の点火時期は、点火時期 ϕ_2 から点火時期 ϕ_1 へ徐々に進角させられる。即ち、この期間においては、実際の点火時期は、第1の遅角点火時期 ϕ_2 よりも進角側の第2の遅角点火時期に制御される。これにより、この期間においても点火時期が第1の遅角点火時期 ϕ_2 に制御される場合と比較して燃費を向上させることができる。

【0157】

また、閾値 $K_{\varepsilon th}$ が十分に小さく設定されるとともに係数 L_{ϕ} が十分に大きく設定されているので、時点 t_2 から実際のポンプ回転速度 NPa が設定されたポンプ回転速度 NP_2 に一致するまでの時間（図6における期間Cの長さ）は、時間 $L_{\phi} \cdot T_{\phi}$ （図6における期間C及び期間Dを合わせた期間の長さ）よりも短い。従って、低圧縮比制御期間が終了した後に点火遅角制御期間が終了する。

40

【0158】

即ち、実際の機械圧縮比が機械圧縮比 ε_1 よりも低い機械圧縮比に制御されている間中、実際の点火時期は、遅角点火時期に制御されている。これにより、ノッキングが発生する可能性が低減される。従って、実際の機械圧縮比を内燃機関10の負荷に基づいて決定される機械圧縮比 ε_1 に早期に近づけてもノッキングの発生を回避することができる。即ち、ノッキングの発生を抑制しながら実際の機械圧縮比を内燃機関10の負荷に基づいて決定される機械圧縮比 ε_1 により早期に近づけることができるので、燃費を向上させることができる。

50

【0159】

以上、説明したように、本発明による内燃機関の制御装置の第1実施形態によれば、燃費向上が阻害されることを回避しながらノッキングの発生を抑制することができる。

【0160】

<第1実施形態の変形例>

次に、本発明の第1実施形態の変形例に係る内燃機関の制御装置について説明する。この変形例に係る制御装置は、上記第1実施形態に係る制御装置に対して、ノッキングが発生した場合、ノッキングが発生した気筒に対する冷却効率を他の気筒に対する冷却効率よりも大きく高めるように構成されている点のみにおいて相違している。従って、以下、かかる相違点を中心として説明する。

10

【0161】

この変形例に係る内燃機関10は、図10の(A)及び(B)に示したように、冷却手段の一部を構成する分岐流量調整弁101を備える。分岐流量調整弁101は、分岐用配水管52が循環用配水管51に接続されている位置の近傍であってその位置よりもシリンダブロック21に対する下流側の位置にて循環用配水管51に配設されている。

【0162】

分岐流量調整弁101は、図11の(A)及び(B)に示したように、弁体101aと、スプリング101bと、ソレノイドコイル101cと、を備えている。

弁体101aは、所定の駆動方向(図11の(A)にて符号DWが付された矢印の方向(閉弁方向)、及び、図11の(B)にて符号UWが付された矢印の方向(開弁方向))において移動可能に構成されている。弁体101aは、閉弁方向側に位置するほど分岐流量調整弁101が配設された位置における循環用配水管51の通路断面積を小さくするようになっている。

20

【0163】

スプリング101bは、弁体101aを上記開弁方向UWに所定の付勢力にて付勢するようになっている。ソレノイドコイル101cは、弁体101aを上記閉弁方向DWに移動させる力であって供給される電力量に応じた大きさを有する力(駆動力)を発生するようになっている。

【0164】

このような構成により、ソレノイドコイル101cに供給される電力量が変更されることによって、弁体101aの駆動方向における位置が変更される。即ち、ソレノイドコイル101cに供給される電力量が大きくなるほど、開口部21c2へ向けて流れる冷却水の流量が増加し、一方、開口部21c1へ向けて流れる冷却水の流量が減少する。

30

【0165】

ここで、弁体101aの位置と冷却効率との関係について説明を加える。以下、便宜上、各気筒を、開口部21c1から開口部21c2へ向かう順に、第1気筒#1、第2気筒#2、第3気筒#3、及び、第4気筒#4と呼ぶ。

【0166】

まず、弁体101aが移動可能な範囲における中間の位置よりも開弁方向UW側に位置している場合から説明する。この場合、図11の(A)に示したように、分岐流量調整弁101が配設された位置における循環用配水管51の通路断面積は比較的大きい。従って、図10の(A)に示したように、開口部21c1を介してシリンダブロック21に供給される冷却水量は、分岐用配水管52を通過することにより開口部21c2を介してシリンダブロック21に供給される冷却水量よりも多い。なお、図10の(A)及び(B)において、白抜矢印の幅が広がるほど冷却水量が多いことを示す。

40

【0167】

従って、第1気筒#1及び第2気筒#2の周囲を通過する冷却水量が、第3気筒#3及び第4気筒#4の周囲を通過する冷却水量よりも多いので、第1気筒#1及び第2気筒#2に対する冷却効率は、第3気筒#3及び第4気筒#4に対する冷却効率よりも高い。

50

【0168】

次に、弁体101aが移動可能な範囲における中間の位置よりも閉弁方向DW側に位置している場合について説明する。この場合、図11の(B)に示したように、分岐流量調整弁101が配設された位置における循環用配水管51の通路断面積は比較的小さい。従って、図10の(B)に示したように、開口部21c1を介してシリンダブロック21に供給される冷却水量は、分岐用配水管52を通過することにより開口部21c2を介してシリンダブロック21に供給される冷却水量よりも少ない。

【0169】

従って、第1気筒#1及び第2気筒#2の周囲を通過する冷却水量が、第3気筒#3及び第4気筒#4の周囲を通過する冷却水量よりも少ないので、第1気筒#1及び第2気筒#2に対する冷却効率、第3気筒#3及び第4気筒#4に対する冷却効率よりも低い。

10

【0170】

このように、ソレノイドコイル101cに供給される電力量が変更されることによって、冷却効率は、第1気筒#1及び第2気筒#2と、第3気筒#3及び第4気筒#4と、のそれぞれに対して調整される。

【0171】

更に、CPU71は、第1実施形態に係る図5のノッキング判定ルーチンに代えて、図5のルーチンのステップ550とステップ599との間に図12にフローチャートにより示したステップ1205～ステップ1220の処理を追加したノッキング判定ルーチンを実行するようになっている。なお、ステップ1205～ステップ1220の処理が実行されることは、ノッキング抑制手段の機能の一部が達成されることに対応している。

20

【0172】

先ず、第1気筒#1においてノッキングが発生した場合から説明する。

この場合、CPU71が上記ノッキング判定ルーチンの処理を開始してステップ510に進んだとき、CPU71は、ステップ510にて「Yes」と判定してステップ515以降のステップに進み、点火時期補正基本量 $\Delta\phi_0$ 、機械圧縮比補正基本量 $\Delta\varepsilon_0$ 及びポンプ回転速度補正量 ΔNP を決定するとともに、ポンプ回転速度NPを補正する。

【0173】

次いで、CPU71は、ステップ1205に進んで現時点のクランク軸25の回転角度から、現時点において膨張行程が終了した気筒をノッキング発生気筒（ここでは、第1気筒#1）として特定する。即ち、ノッキング発生気筒は、ノッキング判定条件が成立している気筒であると言えることができる。

30

【0174】

そして、CPU71は、ステップ1210に進んでノッキング発生気筒が第1気筒#1及び第2気筒#2のうちのいずれかであるか否かを判定する。この状態においては、ノッキング発生気筒が第1気筒#1として特定されているので、CPU71は、ステップ1210にて「Yes」と判定してステップ1215に進む。

【0175】

CPU71は、ステップ1215にて分岐流量調整弁101の開度（分岐流量調整弁開度）を増加させる制御（増量制御）を行う。即ち、CPU71は、ソレノイドコイル101cに供給される電力量を減少させるための指示信号を分岐流量調整弁101へ送出する。そして、CPU71はステップ599に進んで本ルーチンを一旦終了する。

40

【0176】

これにより、ソレノイドコイル101cが発生する駆動力が小さくなるので、分岐流量調整弁101は、開弁方向UWへ移動させられる。この結果、分岐流量調整弁101が配設された位置における循環用配水管51の通路断面積が大きくなる。従って、開口部21c1を介してシリンダブロック21に供給される冷却水量は、増加する。一方、分岐用配水管52を通過することにより開口部21c2を介してシリンダブロック21に供給される冷却水量は減少する。

【0177】

50

更に、上述したように、実際のポンプ回転速度N P aの上昇に伴ってシリンダブロック21へ供給される冷却水の総量が増加する。従って、ノッキングが発生する前の時点と比較して、第1気筒#1及び第2気筒#2の周囲を通過する冷却水量は、第3気筒#3及び第4気筒#4の周囲を通過する冷却水量よりもより多い量だけ増加する。これにより、第1気筒#1及び第2気筒#2に対する冷却効率は、第3気筒#3及び第4気筒#4に対する冷却効率よりも大きく高められる。

【0178】

この結果、第1気筒#1及び第2気筒#2においてノッキングが発生することをより一層確実に抑制することができる。即ち、ノッキングが発生した第1気筒#1においてノッキングが繰り返して発生することを抑制することができる。なお、第2気筒#2においてノッキングが発生した場合も同様である。

10

【0179】

次に、第4気筒#4においてノッキングが発生した場合について説明する。

この場合、CPU71が上記ノッキング判定ルーチンの処理を開始してステップ1210に進んだとき、CPU71は、ステップ1210にて「No」と判定してステップ1220に進む。

【0180】

CPU71は、ステップ1220にて分岐流量調整弁101の開度（分岐流量調整弁開度）を減少させる制御（減量制御）を行う。即ち、CPU71は、ソレノイドコイル101cに供給される電力量を増加させるための指示信号を分岐流量調整弁101へ送出する。そして、CPU71はステップ599に進んで本ルーチンを一旦終了する。

20

【0181】

これにより、ソレノイドコイル101cが発生する駆動力が大きくなるので、分岐流量調整弁101は、閉弁方向DWへ移動させられる。この結果、分岐流量調整弁101が配設された位置における循環用配水管51の通路断面積が小さくなる。従って、開口部21c1を介してシリンダブロック21に供給される冷却水量は、減少する。一方、分岐用配水管52を通過することにより開口部21c2を介してシリンダブロック21に供給される冷却水量は増加する。

【0182】

更に、上述したように、実際のポンプ回転速度N P aの上昇に伴ってシリンダブロック21へ供給される冷却水の総量が増加する。従って、ノッキングが発生する前の時点と比較して、第3気筒#3及び第4気筒#4の周囲を通過する冷却水量は、第1気筒#1及び第2気筒#2の周囲を通過する冷却水量よりもより多い量だけ増加する。これにより、第3気筒#3及び第4気筒#4に対する冷却効率は、第1気筒#1及び第2気筒#2に対する冷却効率よりも大きく高められる。

30

【0183】

この結果、第3気筒#3及び第4気筒#4においてノッキングが発生することをより一層確実に抑制することができる。即ち、ノッキングが発生した第4気筒#4においてノッキングが繰り返して発生することを抑制することができる。なお、第3気筒#3においてノッキングが発生した場合も同様である。

40

【0184】

以上、説明したように、本発明による内燃機関の制御装置の第1実施形態の変形例によれば、いずれかの気筒においてノッキングが発生した場合、ノッキングが発生した気筒に対する冷却効率が他の気筒に対する冷却効率よりも大きく高められる。これにより、ノッキングが発生した気筒においてノッキングが繰り返して発生することを抑制することができる。換言すると、各気筒においてノッキングが発生する可能性を略一致させることができるので、機関全体の機械圧縮比をノッキングが発生しやすい一部の気筒の存在により高められない事態を回避することができる。

【0185】

<第2実施形態>

50

次に、本発明の第2実施形態に係る内燃機関の制御装置について説明する。第2実施形態に係る制御装置は、低圧縮比制御期間において実際の機械圧縮比を実際のポンプ回転速度 NPa に応じた機械圧縮比 ε に制御する上記第1実施形態に係る制御装置に対して、低圧縮比制御期間のうちの実際のポンプ回転速度 NPa が所定の閾値回転速度となるまでの期間中、実際の機械圧縮比を一定に維持するとともに、その期間の経過後、時間の経過に伴って実際の機械圧縮比を徐々に高くする点のみにおいて相違している。従って、以下、かかる相違点を中心として説明する。

【0186】

第2実施形態に係る制御装置は、第1実施形態に係る図7の機械圧縮比補正量算出ルーチンに代わる図13のルーチンを実行するようになっている。

10

いま、図14に示したように、何らかの理由により時点 t_1 にてノッキングが発生した場合を想定する。この場合において、先ず、時点 t_1 以前の期間A内の時点から説明する。

【0187】

(機械圧縮比補正量算出)

この時点にてCPU71が図13の機械圧縮比補正量算出ルーチンの処理を開始すると、CPU71は、ステップ1305に進んで機械圧縮比補正フラグ X_ε の値が「1」であるか否かを判定する。

【0188】

この状態においては、ノッキングが発生していないので、機械圧縮比補正フラグ X_ε の値は「0」のままである。従って、CPU71は、ステップ1305にて「No」と判定してステップ1310に進み、機械圧縮比補正フラグ X_ε の値が「2」であるか否かを判定する。そして、CPU71は、ステップ1310にて「No」と判定してステップ1315に進み、機械圧縮比補正量 $\Delta\varepsilon$ の値を「0」に設定する。次いで、CPU71は、ステップ1399に進んで本ルーチンを一旦終了する。

20

【0189】

従って、この時点では、上述したように、実際の機械圧縮比は、内燃機関10の負荷に基づいて決定される機械圧縮比 ε ($=\varepsilon_1$)に制御される。

【0190】

(ノッキング判定時点)

30

その後、時点 t_1 になると、ノッキングが発生する。従って、ノッキング強度 SN は、閾値強度 SN_{th} よりも大きくなる。従って、この時点にてCPU71が図5のノッキング判定ルーチンを実行することにより、上記第1実施形態と同様に、点火時期補正基本量 $\Delta\phi_0$ 、機械圧縮比補正基本量 $\Delta\varepsilon_0$ 及びポンプ回転速度補正量 ΔNP が決定される(ステップ515～ステップ525)。更に、ポンプ回転速度 NP が補正されるとともにテーブルMapNPが更新される(ステップ530及びステップ535)。加えて、点火時期補正フラグ X_ϕ の値及び機械圧縮比補正フラグ X_ε の値がいずれも「1」に設定される(ステップ540及びステップ545)。更に、タイマ T の値が「0」に設定される(ステップ550)。

【0191】

40

この時点にてCPU71が図13の機械圧縮比補正量算出ルーチンの処理を開始してステップ1305に進んだとき、CPU71は、ステップ1305にて「Yes」と判定してステップ1320に進む。CPU71は、ステップ1320にて機械圧縮比補正量 $\Delta\varepsilon$ を上記ステップ520にて決定された機械圧縮比補正基本量 $\Delta\varepsilon_0$ に設定する。

【0192】

次いで、CPU71は、ステップ1325に進んでポンプ回転速度センサ65により検出されたポンプ回転速度 NPa を読み込む。そして、CPU71は、ステップ1330に進んで上記ステップ530にて設定されたポンプ回転速度 NP (この時点では、 $NP=NP_2$)から上記ステップ1325にて読み込まれたポンプ回転速度 NPa を減じた値 $NP-NPa$ を上記ステップ525にて決定されたポンプ回転速度補正量 ΔNP により除した

50

値 $(NP - NP_a) / \Delta NP$ をポンプ回転速度不一致率 RNP として算出する。

【0193】

その後、CPU71は、ステップ1335に進んで上記ステップ1330にて算出されたポンプ回転速度不一致率 RNP が所定の閾値率 RNP_{th} (本例では、0.4) よりも小さい否かを判定する。なお、本例では、ポンプ回転速度不一致率 RNP が閾値率 RNP_{th} に一致するまで機械圧縮比補正量 $\Delta \varepsilon$ が機械圧縮比補正基本量 $\Delta \varepsilon_0$ に維持される。従って、タイミング制御用変数 K_ε ($= \Delta \varepsilon / \Delta \varepsilon_0$) も、「1」に維持される。即ち、ポンプ回転速度不一致率 RNP が閾値率 RNP_{th} に一致する時点よりも後の時点にて、タイミング制御用変数 K_ε が閾値 $K_{\varepsilon th}$ に一致する。

【0194】

10

この時点では、値 $NP - NP_a$ はポンプ回転速度補正量 ΔNP と等しいので、ポンプ回転速度不一致率 RNP は「1」である。従って、CPU71は、ステップ1335にて「No」と判定してステップ1399に直接進み本ルーチンを一旦終了する。

【0195】

従って、この時点では、実際の機械圧縮比は、内燃機関10の負荷に基づいて決定される機械圧縮比 ε ($= \varepsilon_1$) よりも上記ステップ520にて決定された機械圧縮比補正基本量 $\Delta \varepsilon_0$ だけ低い機械圧縮比 ε ($= \varepsilon_2$) に制御される。

【0196】

このような状況は、ポンプ回転速度不一致率 RNP が閾値率 RNP_{th} 以上である限り継続する。この状況においては、時間の経過に伴って、実際のポンプ回転速度 NP_a は上記設定されたポンプ回転速度 NP ($= NP_2$) へ向かって徐々に高くなる。即ち、ポンプ回転速度不一致率 RNP は徐々に減少する。これにより、冷却水の流量が増加する。この結果、冷却効率が高められるので、燃焼室壁面の温度が低下する。

20

【0197】

一方、点火時期補正量 $\Delta \phi$ は、上記第1実施形態と同様に、点火時期補正基本量 $\Delta \phi_0$ に維持され続ける。即ち、実際の点火時期は内燃機関10の負荷に基づいて決定される点火時期 ϕ_1 よりも点火時期補正基本量 $\Delta \phi_0$ だけ遅角された点火時期 ϕ_2 に制御され続ける。

【0198】

そして、時点 t_2 になると、ポンプ回転速度不一致率 RNP は、閾値率 RNP_{th} に一致する。換言すると、実際のポンプ回転速度 NP_a は、閾値回転速度 $NP - RNP_{th} \cdot \Delta NP$ に一致する。従って、この時点 t_2 にてCPU71が図13の機械圧縮比補正量算出ルーチンの処理を開始してステップ1335に進んだとき、CPU71は、ステップ1335にて「Yes」と判定してステップ1340に進む。CPU71は、ステップ1340にて機械圧縮比補正フラグ X_ε の値を「2」に設定する。

30

【0199】

次いで、CPU71は、ステップ1345に進んで機械圧縮比維持期間 T_ε を現時点のタイマ T の値に設定する。即ち、機械圧縮比維持期間 T_ε は、実際の機械圧縮比が内燃機関10の負荷に基づいて決定された機械圧縮比 ε_1 を機械圧縮比補正基本量 $\Delta \varepsilon_0$ だけ低くした機械圧縮比 ε_2 に維持されていた時間を表す。そして、CPU71は、ステップ1399に進んで本ルーチンを一旦終了する。

40

【0200】

そして、クランク軸25が180°だけ回転することによりCPU71が再び図13の機械圧縮比補正量算出ルーチンの処理を開始すると、CPU71はステップ1305に進んだとき、ステップ1305にて「No」と判定してステップ1310に進む。

【0201】

そして、CPU71は、機械圧縮比補正フラグ X_ε の値が「2」であるか否かを判定するステップ1310にて「Yes」と判定してステップ1350に進み、機械圧縮比補正量 $\Delta \varepsilon$ を下記(2)式に基づいて算出する。

$$\Delta \varepsilon = (L_\varepsilon \cdot T_\varepsilon + T_\varepsilon - T) \cdot \Delta \varepsilon_0 / (L_\varepsilon \cdot T_\varepsilon) \quad \dots (2)$$

50

【0202】

ここで、 L_{ε} は所定の係数（本例では、0.8）である。上記(2)式に基づいて算出される機械圧縮比補正量 $\Delta \varepsilon$ は、図14から理解されるように、経過した時間に比例して減少する量であって、機械圧縮比維持期間 T_{ε} に係数 L_{ε} を乗じた時間 $L_{\varepsilon} \cdot T_{\varepsilon}$ をかけて機械圧縮比補正基本量 $\Delta \varepsilon_0$ から「0」へ変化する量である。

【0203】

次いで、CPU71は、ステップ1355に進んで機械圧縮比補正量 $\Delta \varepsilon$ が負の値であるか否かを判定する。この時点では、機械圧縮比補正量 $\Delta \varepsilon$ は正の値である。従って、CPU71は、ステップ1355にて「No」と判定してステップ1399に直接進み本ルーチンを一旦終了する。

10

【0204】

このように、機械圧縮比補正量 $\Delta \varepsilon$ を減少させる状況は、機械圧縮比補正量 $\Delta \varepsilon$ が「0」となるまで継続する。従って、時間の経過に伴って機械圧縮比補正量 $\Delta \varepsilon$ が減少するので、実際の機械圧縮比も時間の経過に伴って内燃機関10の負荷に基づいて決定される機械圧縮比 ε_1 へ徐々に高められる。

【0205】

そして、時点 t_3 になると、タイミング制御用変数 K_{ε} は、閾値 $K_{\varepsilon th}$ に一致する。従って、この時点 t_3 にてCPU71が図8の点火時期補正量算出ルーチンを実行することにより、点火時期補正フラグ X_{ϕ} の値が「2」に設定される（ステップ835）。更に、点火時期維持期間 T_{ϕ} が現時点のタイマ T の値に設定される（ステップ840）。

20

【0206】

そして、クランク軸25が180°だけ回転することによりCPU71が再び図8の点火時期補正量算出ルーチンを実行することにより、点火時期補正量 $\Delta \phi$ が上記(1)式に基づいて算出される（ステップ845）。上述したように、上記(1)式に基づいて算出される点火時期補正量 $\Delta \phi$ は、経過した時間に比例して減少する量であって、点火時期維持期間 T_{ϕ} に係数 L_{ϕ} を乗じた時間 $L_{\phi} \cdot T_{\phi}$ をかけて点火時期補正基本量 $\Delta \phi_0$ から「0」へ変化する量である。本例では、係数 L_{ϕ} は、時間 $L_{\phi} \cdot T_{\phi}$ と時間 $L_{\varepsilon} \cdot T_{\varepsilon}$ とが一致するように設定されている。

【0207】

このような状況は、点火時期補正量 $\Delta \phi$ が「0」となるまで継続する。従って、時間の経過に伴って点火時期補正量 $\Delta \phi$ が減少するので、実際の点火時期も時間の経過に伴って内燃機関10の負荷に基づいて決定される点火時期 ϕ_1 へ徐々に進角させられる。

30

【0208】

そして、時点 t_{3a} になると、実際のポンプ回転速度 NP_a が上記ステップ330にて設定されたポンプ回転速度 $NP (= NP_2)$ に一致する。

【0209】

そして、時点 t_2 から時間 $L_{\varepsilon} \cdot T_{\varepsilon}$ が経過した時点 t_4 になると、機械圧縮比補正量 $\Delta \varepsilon$ が「0」となる。従って、この時点 t_4 にてCPU71が図13の機械圧縮比補正量算出ルーチンの処理を開始してステップ1355に進んだとき、CPU71は、ステップ1355にて「Yes」と判定してステップ1360に進む。CPU71は、ステップ1360にて機械圧縮比補正量 $\Delta \varepsilon$ の値を「0」に設定し、続くステップ1365にて機械圧縮比補正フラグ X_{ε} の値を「0」に設定する。そして、CPU71はステップ1399に進んで本ルーチンを一旦終了する。

40

【0210】

そして、クランク軸25が180°だけ回転することによりCPU71が再び図13の機械圧縮比補正量算出ルーチンの処理を開始すると、CPU71はステップ1305及びステップ1310に進んだとき、いずれも「No」と判定してステップ1315に進む。CPU71は、ステップ1315にて機械圧縮比補正量 $\Delta \varepsilon$ の値を「0」に設定し、続くステップ1399にて本ルーチンを一旦終了する。

このように、機械圧縮比補正量 $\Delta \varepsilon$ が「0」に設定される状況は、再びノッキングが発

50

生するまで継続する。

【0211】

そして、時点 t_3 から時間 $L\phi \cdot T\phi$ が経過した時点 t_5 になると、点火時期補正量 $\Delta\phi$ が「0」となる。従って、この時点 t_5 にてCPU71が図8の点火時期補正量算出ルーチンを実行することにより、点火時期補正量 $\Delta\phi$ の値が「0」に設定されるとともに、点火時期補正フラグ $X\phi$ の値が「0」に設定される（ステップ855及びステップ860）。

【0212】

そして、クランク軸25が 180° だけ回転することによりCPU71が再び図8の点火時期補正量算出ルーチンを実行することにより、点火時期補正量 $\Delta\phi$ の値が「0」に設定される（ステップ815）。 10

このように、点火時期補正量 $\Delta\phi$ が「0」に設定される状況は、再びノッキングが発生するまで継続する。

【0213】

このように、ノッキングが発生した（即ち、ノッキング判定条件が成立している）と判定されると、その判定時点 t_1 にてポンプ回転速度NPを高めるようにウォーターポンプ53が制御される。更に、その判定時点 t_1 から時点 t_4 までの期間（図14における期間B、期間C及び期間D）において、実際の機械圧縮比が内燃機関10の負荷に基づいて決定される機械圧縮比 ε_1 よりも低い機械圧縮比に制御される。これにより、エンドガスの圧力が低下する。この結果、ノッキングの発生を抑制することができる。なお、図14 20
における期間Bと期間Cと期間Dとを合わせた期間は、低圧縮比制御期間とも呼ばれる期間である。

【0214】

ポンプ回転速度NPを高めるようにウォーターポンプ53が制御されてから、所定の遅延時間が経過するまでの間、燃焼室壁面の温度は略一定となる。従って、上記判定時点 t_1 からポンプ回転速度不一致率 RNP が減少することにより閾値率 RNP_{th} に一致する時点 t_2 までの期間（図14における期間B）においては、実際の機械圧縮比は内燃機関10の負荷に基づいて決定された機械圧縮比 ε_1 よりも機械圧縮比補正基本量 $\Delta\varepsilon_0$ だけ低くされた機械圧縮比（第1の機械圧縮比） ε_2 にて一定に維持される。この結果、ノッ 30
キングの発生をより一層確実に抑制することができる。なお、図14における期間Bは、第1期間とも呼ばれる期間である。

【0215】

そして、実際のポンプ回転速度 NP_a は、時間の経過に伴って徐々に高くなる。従って、冷却効率が徐々に高くなるので、燃焼室壁面の温度が徐々に低下する。これにより、ノッキングが発生する可能性が低下する。

【0216】

従って、時点 t_2 以降の期間（図14における期間C及び期間D）においては、実際の機械圧縮比は、第1の機械圧縮比 ε_2 よりも高い第2の機械圧縮比に制御される。これにより、ノッキングの発生を抑制しながら、機械圧縮比が低圧縮比制御期間のすべてにわたり第1の機械圧縮比 ε_2 に制御される場合と比較して燃費を向上させることができる。更に、この第2の機械圧縮比は、時間の経過に伴って内燃機関10の負荷に基づいて決定される機械圧縮比 ε_1 へ向けて徐々に高められる。これにより、第2の機械圧縮比が一定に維持される場合よりも、ノッキングの発生をより確実に抑制しながら可能な限り燃費を向上させることができる。なお、図14における期間Cと期間Dとを合わせた期間は、第2 40
期間とも呼ばれる期間である。

【0217】

その後、時点 t_3a にて、ノッキングが発生する前に設定されていたポンプ回転速度N 50

P 1 よりも高いポンプ回転速度 N P 2 に実際のポンプ回転速度 N P a が一致する。そして、時点 t 4 においては、燃焼室壁面の温度が十分に低下しているので、ノッキングが発生する可能性が十分に低くなっている。

【0218】

従って、時点 t 4 以降の期間（図 1 4 における期間 E 及び期間 F）においては、実際の機械圧縮比が内燃機関 1 0 の負荷に基づいて決定される機械圧縮比 ε_1 に戻される。これにより、実際の機械圧縮比が負荷に基づいて決定される機械圧縮比 ε_1 よりも低い機械圧縮比に制御され続けることを回避しながらノッキングの発生を抑制することができる。即ち、燃費向上が阻害されることを回避しながらノッキングの発生を抑制することができる。

10

【0219】

また、上述したように、ポンプ回転速度不一致率 R N P が減少することにより閾値率 R N P t h に一致する時点 t 2 にて機械圧縮比が高められ始める。これにより、冷却効率が十分に高くなってから機械圧縮比を高めることができるので、ノッキングの発生をより確実に抑制しながら燃費を向上させることができる。なお、この時点 t 2 は、実際のポンプ回転速度 N P a（即ち、回転子 5 3 b の回転速度）が閾値率 R N P t h に対応する閾値回転速度（即ち、 $N P - R N P t h \cdot \Delta N P$ ）となった時点であると言える。更に、この時点 t 2 は、本明細書において、第 1 時点とも呼ばれる時点である。

【0220】

20

加えて、上記判定時点 t 1 から時点 t 5 までの期間（図 1 4 における期間 B、期間 C、期間 D 及び期間 E）においては、実際の点火時期が内燃機関 1 0 の負荷に基づいて決定される点火時期 ϕ_1 よりも遅角側の点火時期（遅角点火時期）に制御される。なお、図 1 4 における期間 B と期間 C と期間 D と期間 E とを合わせた期間は、点火遅角制御期間とも呼ばれる期間である。

【0221】

これにより、エンドガスの圧力を低下させることができるので、ノッキングの発生を抑制することができる。この結果、上記判定時点 t 1 の直後の期間において実際の機械圧縮比が制御遅れを伴って変化することにより予定されていた機械圧縮比よりも高い機械圧縮比にて内燃機関 1 0 が運転されてもノッキングが発生することを抑制することができる。

30

【0222】

更に、上記判定時点 t 1 からタイミング制御用変数 K_ε が減少することにより閾値 $K_\varepsilon t h$ に一致する時点 t 3 までの期間（図 1 4 における期間 B 及び期間 C）において、実際の点火時期は内燃機関 1 0 の負荷に基づいて決定された点火時期 ϕ_1 よりも点火時期補正基本量 $\Delta \phi_0$ だけ遅角された点火時期（第 1 の遅角点火時期） ϕ_2 にて一定に維持される。なお、この時点 t 3 は、実際の機械圧縮比が高められ始める時点 t 2 よりも後の時点であり、本明細書において、第 2 時点とも呼ばれる時点である。

【0223】

これにより、実際の機械圧縮比を内燃機関 1 0 の負荷に基づいて決定される機械圧縮比 ε_1 に早期に近づけてもノッキングの発生を抑制することができる。即ち、ノッキングを抑制しながら実際の機械圧縮比を内燃機関 1 0 の負荷に基づいて決定される機械圧縮比 ε_1 により早期に近づけることができるので、燃費を向上させることができる。

40

【0224】

その後、時点 t 3 以降の期間（図 1 4 における期間 D 及び期間 E）においては、実際の点火時期は、点火時期 ϕ_2 から点火時期 ϕ_1 へ徐々に進角させられる。即ち、この期間においては、実際の点火時期は、第 1 の遅角点火時期 ϕ_2 よりも進角側の第 2 の遅角点火時期に制御される。これにより、この期間においても点火時期が第 1 の遅角点火時期 ϕ_2 に制御される場合と比較して燃費を向上させることができる。

【0225】

また、上述したように、係数 L_ϕ は、時間 $L_\phi \cdot T_\phi$ と時間 $L_\varepsilon \cdot T_\varepsilon$ とが一致するよ

50

うに設定されている。従って、低圧縮比制御期間が終了した後に点火遅角制御期間が終了する。

【0226】

即ち、実際の機械圧縮比が機械圧縮比 ε 1よりも低い機械圧縮比に制御されている間中、実際の点火時期は、遅角点火時期に制御されている。これにより、ノッキングが発生する可能性が低減される。従って、実際の機械圧縮比を内燃機関10の負荷に基づいて決定される機械圧縮比 ε 1に早期に近づけてもノッキングの発生を回避することができる。即ち、ノッキングの発生を抑制しながら実際の機械圧縮比を内燃機関10の負荷に基づいて決定される機械圧縮比 ε 1により早期に近づけることができるので、燃費を向上させることができる。

10

【0227】

以上、説明したように、本発明による内燃機関の制御装置の第2実施形態によれば、燃費向上が阻害されることを回避しながらノッキングの発生を抑制することができる。

【0228】

なお、上記第2実施形態は、燃焼室CCの近傍に供給される冷却水の量を変更することにより冷却効率を調整するように構成されていたが、冷却水の温度を変更することにより冷却効率を調整するように構成されていてもよい。

【0229】

この場合、バイパス流量調整弁55aは、CPU71からの指示信号に応じてバルブ開度を変更可能に構成される。例えば、バイパス流量調整弁55aは、冷却水の温度を検出する部分を加熱可能な発熱体を備えていてもよい。また、バイパス流量調整弁55aは、サーモスタット式の弁に代えて、アクチュエータにより駆動される弁であってもよい。

20

【0230】

更に、この場合、CPU71は、ノッキングが発生したと判定したとき、バイパス流量調整弁55aのバルブ開度を小さくする指示信号をバイパス流量調整弁55aに対して送る。これにより、ラジエータ54へ流入する冷却水の量が増加するので冷却水温度が低下する。この結果、冷却効率が高められるので、ノッキングの発生を抑制することができる。

【0231】

加えて、この場合、上記第1時点（低圧縮比制御期間において、機械圧縮比を第1の機械圧縮比から第1の機械圧縮比よりも高い第2の機械圧縮比へ切り替える時点）を冷却水温度が所定の閾値温度となった時点に設定することが好適である。また、第1時点をノッキング判定時点から所定時間が経過した時点に設定してもよい。

30

【0232】

また、上記第2実施形態は、上記第1実施形態の変形例と同様に、いずれかの気筒においてノッキングが発生した場合、ノッキングが発生した気筒に対する冷却効率を他の気筒に対する冷却効率よりも大きく高めるように構成されていてもよい。

40

【0233】

なお、本発明は上記各実施形態に限定されることはなく、本発明の範囲内において種々の変形例を採用することができる。例えば、上記各実施形態は、ノックセンサ62により検出されるシリンダブロック部20の振動Vcをノッキングの発生に係る指標値として採用していたが、燃焼室CC内のガスの圧力（筒内圧力）を同指標値として採用してもよい。この場合、上記各実施形態は、筒内圧力を検出する筒内圧力センサを備えるとともに、筒内圧力センサにより検出された筒内圧力の時間変化率が所定の閾値変化率以上である場合にノッキングが発生したと判定するように構成されることが好適である。

【0234】

50

また、上記各実施形態は、ノッキングが発生したという条件のみをノッキング判定条件として採用していたが、ノッキングが発生し得る状態であるという条件をノッキング判定条件として採用してもよい。

【0235】

この場合、上記各実施形態は、冷却水温度センサ61により検出される冷却水温度 T_w を上記指標値として採用するとともに、検出された冷却水温度 T_w が所定の閾値温度以上である場合にノッキングが発生し得る状態であると判定するように構成されることが好適である。

【0236】

また、上記各実施形態は、燃焼室CCに導入される空気の温度（吸気温度）を検出する吸気温度センサを備えるとともに同吸気温度センサにより検出される吸気温度を上記指標値として採用し、且つ、検出された吸気温度が所定の閾値温度以上である場合にノッキングが発生し得る状態であると判定するように構成されることが好適である。

10

【0237】

一方、上記各実施形態は、筒内圧力を検出する筒内圧力センサを備えるとともに同筒内圧力センサにより検出される筒内圧力を上記指標値として採用し、且つ、検出された筒内圧力が所定の閾値圧力以上である場合にノッキングが発生し得る状態であると判定するように構成されることが好適である。

【0238】

また、上記各実施形態は、上記指標値として、冷却水温度 T_w 、吸気温度、筒内圧力、及び、シリンダブロック部20の振動 V_c 、のうちの2つ以上を採用してもよい。更に、上記各実施形態は、ノッキング判定条件として、ノッキングが発生したという条件及びノッキングが発生し得る状態であるという条件の両方を採用してもよい。

20

【0239】

また、上記各実施形態は、ノッキングが発生した場合に点火時期を内燃機関10の負荷に基づいて決定される点火時期 ϕ_1 よりも遅角側の遅角点火時期に制御するように構成されていたが、ノッキングの発生の有無にかかわらず点火時期を内燃機関10の負荷に基づいて決定される点火時期 ϕ_1 に制御するように構成されていてもよい。

【0240】

一方、上記各実施形態は、クランクケース22が車両に固定されるとともにシリンダブロック21がクランクケース22に対して相対移動可能に構成されていたが、シリンダブロック21が車両に固定されるとともにクランクケース22がシリンダブロック21に対して相対移動可能に構成されていてもよい。この場合、シリンダブロック21は固定側部材と呼ばれ、一方、クランクケース22は可動側部材と呼ばれる。更に、この場合、ウォーターポンプ53は、車両又はシリンダブロック21に固定されることが好適である。

30

【0241】

また、上記各実施形態は、冷却媒体として冷却水が用いられるように構成されていたが、冷却媒体として空気が用いられるように構成されていてもよい。この場合、シリンダブロック部20及びシリンダヘッド部30の周囲を通過する空気の流量を変更することにより冷却効率が調整されるように構成されていることが好適である。

40

【0242】

一方、上記各実施形態は、内燃機関10の負荷が小さくなるほど実膨張比が高くなるように排気弁34を開弁させるとともに、実圧縮比が同負荷にかかわらず略一定に維持されるように吸気弁32を開弁させるように構成されていることが好適である。更に、内燃機関10の負荷が所定の閾値負荷よりも小さい軽負荷領域において、テーブル Map_ε に基づいて求められる機械圧縮比 ε が20以上となるようにテーブル Map_ε が設定されることが好適である。

【0243】

ここで、実膨張比は、ピストン23が上死点位置にある時点における燃焼室CCの容積である上死点燃焼室容積に対する排気弁34が開弁される時点における燃焼室CCの容積

50

の比である。また、実圧縮比は、上死点燃焼室容積に対する吸気弁 32 が閉弁される時点における燃焼室 C C の容積の比である。

【0244】

これによれば、負荷が小さくなるほど実膨張比が高くなる。これにより、混合ガスの燃焼によって生成された燃焼ガスがピストン 23 に対して仕事を行う期間が長くなる。従って、熱効率を高めることができる。この結果、燃費を向上させることができる。

【0245】

更に、実圧縮比は、負荷にかかわらず略一定に維持される。この結果、負荷が小さくなることにより機械圧縮比が高められても、ノッキングが発生する可能性が高くなることを回避することができる。以上により、負荷が比較的小さい軽負荷領域において、ノッキングの発生を抑制しながら燃費を向上させることができる。

10

【図面の簡単な説明】

【0246】

【図1】本発明の第1実施形態に係る内燃機関の制御装置を火花点火式多気筒内燃機関に適用したシステムの概略構成図である。

【図2】図1に一部のみを示した冷却システムの全体の概略構成図である。

【図3】図1に示したCPUが実行するプログラムであって制御量を決定するためのプログラムを示したフローチャートである。

【図4】図1に示したCPUが参照するエンジン回転速度及びアクセルペダル操作量と機械圧縮比との関係を規定したテーブルを示した図である。

20

【図5】図1に示したCPUが実行するプログラムであってノッキングが発生したか否かを判定するためのプログラムを示したフローチャートである。

【図6】ポンプ回転速度、機械圧縮比補正フラグ、ポンプ回転速度不一致率、機械圧縮比、補正係数、点火時期補正フラグ及び点火時期の変化を示したタイムチャートである。

【図7】図1に示したCPUが実行するプログラムであって機械圧縮比補正量を算出するためのプログラムを示したフローチャートである。

【図8】図1に示したCPUが実行するプログラムであって点火時期補正量を算出するためのプログラムを示したフローチャートである。

【図9】図1に示したCPUが実行するプログラムであって制御量を補正するためのプログラムを示したフローチャートである。

30

【図10】本発明の第1実施形態の変形例に係る冷却システムの部分であって分岐用配水管が循環用配水管に接続された部分の拡大断面図である。

【図11】本発明の第1実施形態の変形例に係る冷却システムにおける冷却水の流れを概念的に示した説明図である。

【図12】本発明の第1実施形態の変形例に係るCPUが分岐流量調整弁開度を制御するために図5に示したプログラムに追加して実行する処理を示したフローチャートである。

【図13】本発明の第2実施形態に係るCPUが機械圧縮比補正量を算出するために図8に示したプログラムに代えて実行するプログラムを示したフローチャートである。

【図14】ポンプ回転速度、ポンプ回転速度不一致率、機械圧縮比補正フラグ、機械圧縮比、補正係数、点火時期補正フラグ及び点火時期の変化を示したタイムチャートである。

40

【符号の説明】

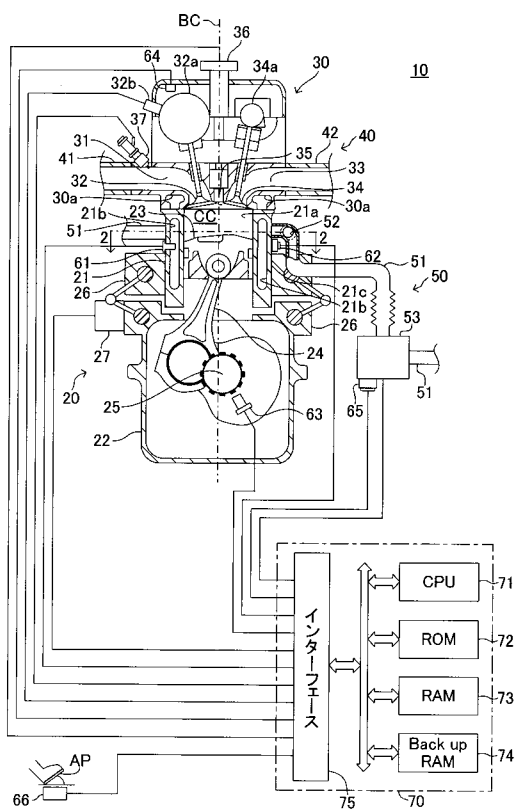
【0247】

10…内燃機関、20…シリンダブロック部、21…シリンダブロック、21a…シリンダボア、21b…ブロック側ウォータージャケット、21c1, 21c2…開口部、21c…側面、22…クランクケース、23…ピストン、25…クランク軸、26…圧縮比変更装置、27…圧縮比制御装置、30…シリンダヘッド部、30a…ヘッド側ウォータージャケット、32…吸気弁、32a…可変吸気タイミング装置、32b…アクチュエータ、34…排気弁、35…点火プラグ、36…イグナイタ、37…インジェクタ、50…冷却システム、51…循環用配水管、52…分岐用配水管、53…ウォーターポンプ、53a…モータ、53b…回転子、53b1…羽根、54…ラジエータ、55…バイパス用配水

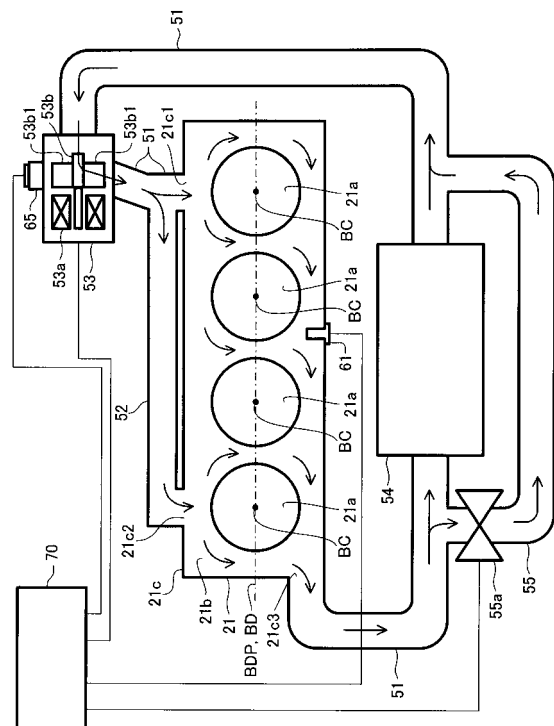
50

管、55a…バイパス流量調整弁、61…冷却水温度センサ、62…ノックセンサ、65…ポンプ回転速度センサ、CPU…71、101…分岐流量調整弁、101a…弁体、101b…スプリング、101c…ソレノイドコイル、CC…燃焼室。

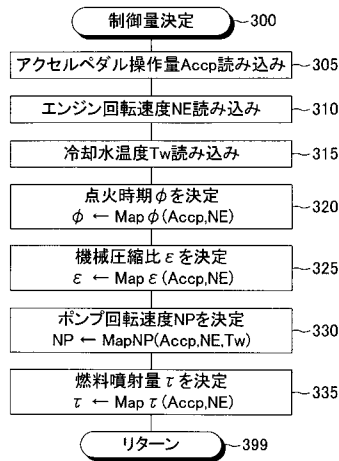
【図1】



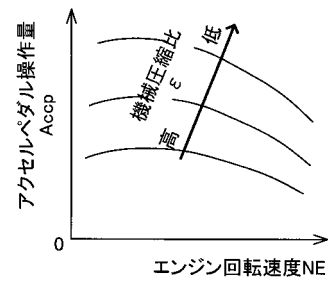
【図2】



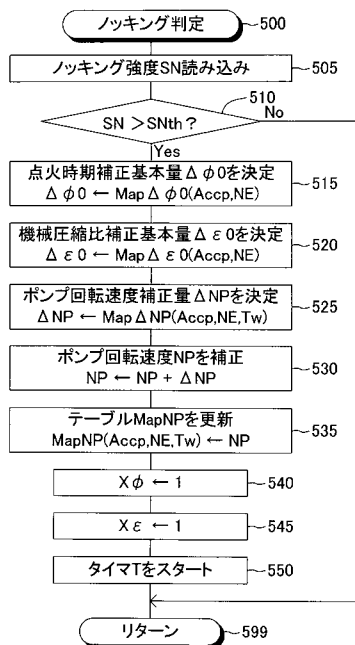
【図 3】



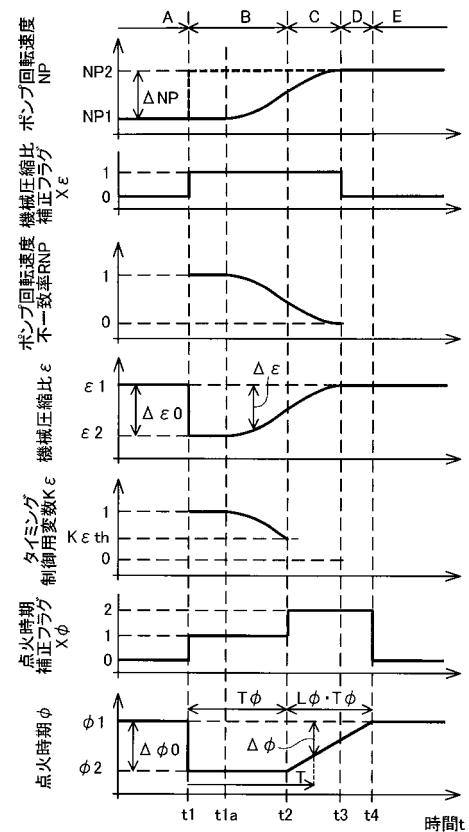
【図 4】



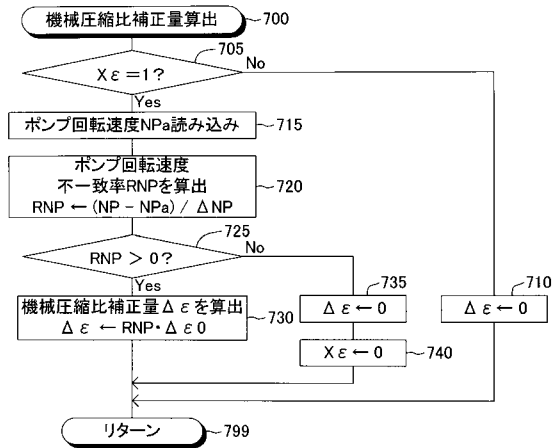
【図 5】



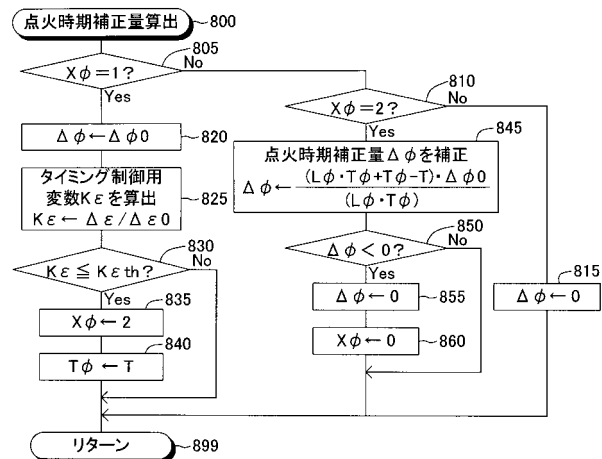
【図 6】



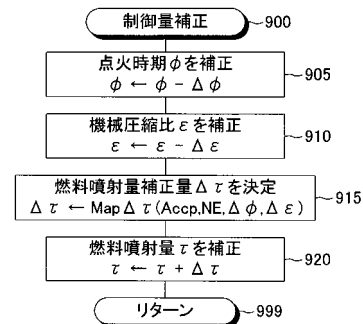
【図 7】



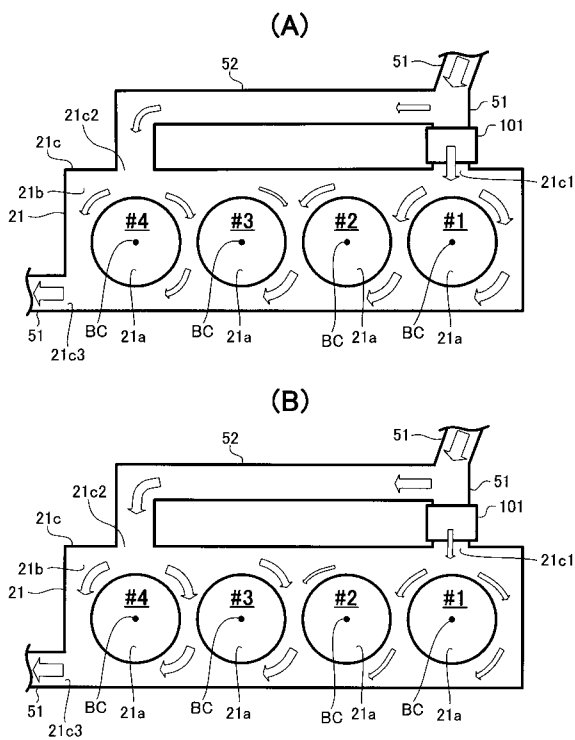
【図 8】



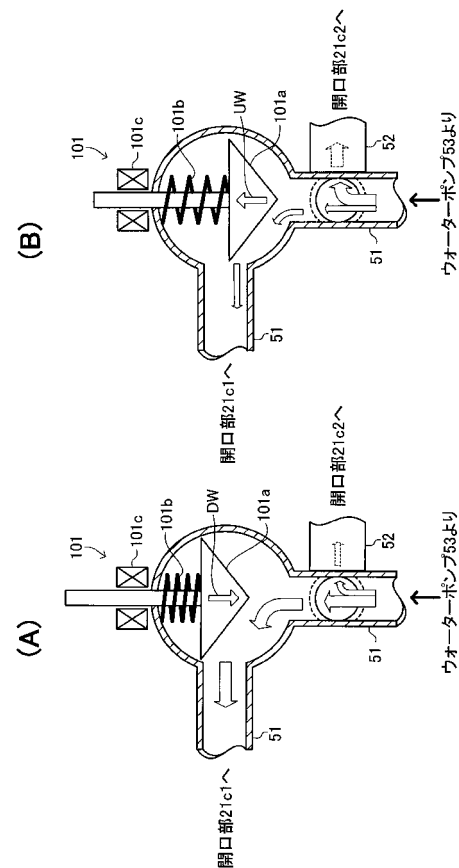
【図 9】



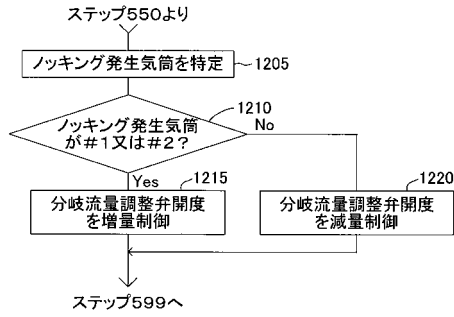
【図 10】



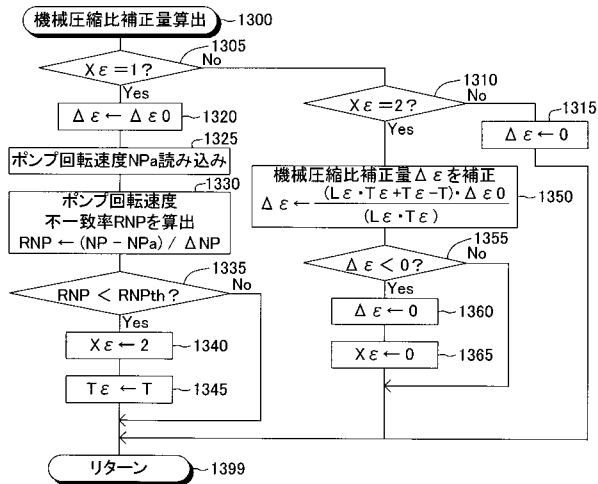
【図 11】



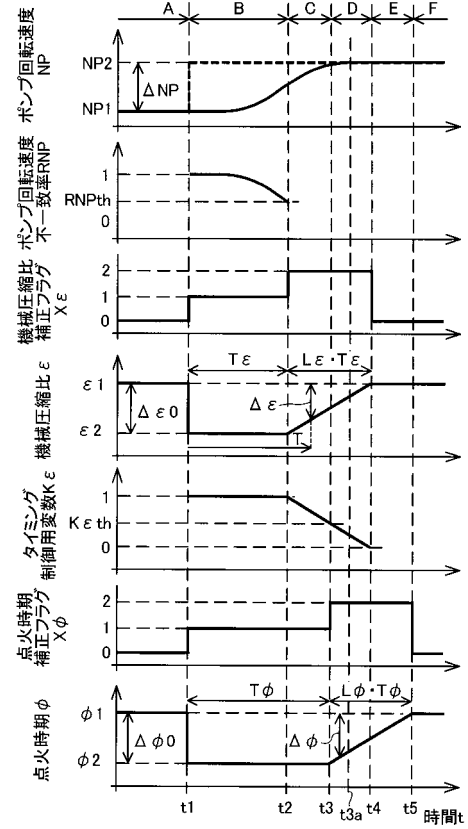
【図 1 2】



【図 1 3】



【図 1 4】



フロントページの続き

(51)Int.Cl.		F I		
<i>F 0 2 D</i>	<i>45/00</i>	<i>(2006.01)</i>	<i>F 0 2 F</i>	<i>7/00</i> <i>3 0 1 A</i>
<i>F 0 1 P</i>	<i>7/16</i>	<i>(2006.01)</i>	<i>F 0 2 F</i>	<i>1/14</i> <i>D</i>
<i>F 0 2 P</i>	<i>5/152</i>	<i>(2006.01)</i>	<i>F 0 2 D</i>	<i>45/00</i> <i>3 4 5 B</i>
<i>F 0 2 P</i>	<i>5/153</i>	<i>(2006.01)</i>	<i>F 0 1 P</i>	<i>7/16</i> <i>5 0 5 B</i>
			<i>F 0 2 P</i>	<i>5/15</i> <i>D</i>

(56)参考文献 特開 2 0 0 7 - 0 6 4 1 5 3 (J P, A)
 特開 2 0 0 6 - 1 7 7 1 7 6 (J P, A)
 特開 2 0 0 5 - 2 2 6 5 7 1 (J P, A)
 特開 2 0 0 6 - 3 2 8 9 6 2 (J P, A)
 特開 2 0 0 3 - 2 0 6 7 7 1 (J P, A)
 特開 2 0 0 0 - 0 7 3 8 0 3 (J P, A)
 特表 2 0 0 3 - 5 1 3 1 9 1 (J P, A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

<i>F 0 2 D</i>	<i>1 5 / 0 4</i>
<i>F 0 1 P</i>	<i>7 / 1 6</i>
<i>F 0 2 B</i>	<i>2 3 / 0 0</i>
<i>F 0 2 B</i>	<i>7 5 / 0 4</i>
<i>F 0 2 D</i>	<i>4 5 / 0 0</i>
<i>F 0 2 F</i>	<i>1 / 1 4</i>
<i>F 0 2 F</i>	<i>7 / 0 0</i>
<i>F 0 2 P</i>	<i>5 / 1 5 2</i>
<i>F 0 2 P</i>	<i>5 / 1 5 3</i>