

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公開特許公報(A)

(11) 特許出願公開番号

特開2020-33921  
(P2020-33921A)

(43) 公開日 令和2年3月5日(2020.3.5)

(51) Int.Cl.	F 1	テーマコード (参考)
<b>FO2D 45/00 (2006.01)</b>	FO2D 45/00 368Z	3G301
<b>FO2D 41/34 (2006.01)</b>	FO2D 41/34 F	3G384

審査請求 未請求 請求項の数 6 O L (全 15 頁)

(21) 出願番号 特願2018-160277 (P2018-160277)  
(22) 出願日 平成30年8月29日 (2018.8.29)

(71) 出願人 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 100105957  
弁理士 恩田 誠  
(74) 代理人 100068755  
弁理士 恩田 博宣  
(72) 発明者 西田 健太郎  
愛知県豊田市トヨタ町1番地 トヨタ自動車株式会社内  
Fターム(参考) 3G301 HA01 HA04 HA11 JA09 LB04  
MA06 MA18 NA08 NE12 NE21  
PA16 PB02 PB05 PC04  
3G384 AA02 AA06 BA18 CA27 DA56  
EB12 FA16 FA21 FA34

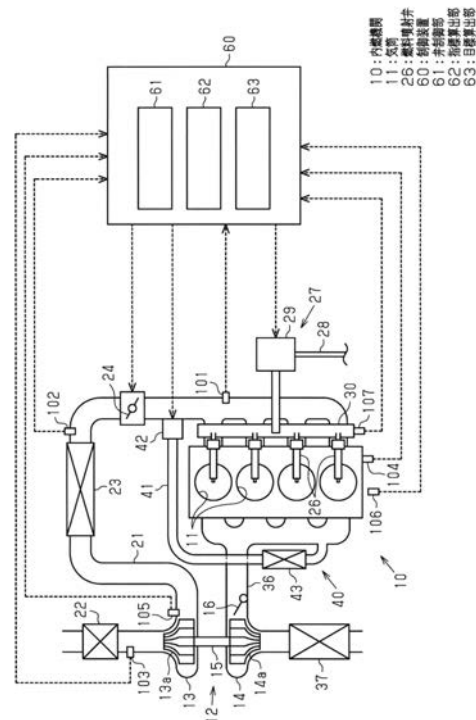
(54) 【発明の名称】 内燃機関の制御装置

(57) 【要約】

【課題】 拡散燃焼と予混合燃焼とが混在する領域での機関運転時における燃焼騒音の大きさのばらつきを抑制すること。

【解決手段】 制御装置60は、燃料噴射弁26にパイロット噴射を行わせ、その後に燃料噴射弁26にメイン噴射を行わせる。この制御装置60は、メイン噴射によって気筒11内に噴射された燃料の着火遅れと着火遅れ目標値との乖離が小さくなるように、燃料噴射弁26を制御する弁制御部61と、拡散燃焼と予混合燃焼とが混在する領域での機関運転時には、推定される気筒11内における燃料の着火性が高いほど着火遅れ目標値が小さくなるように、着火遅れ目標値を算出する目標算出部63とを備えている。

【選択図】 図1



## 【特許請求の範囲】

## 【請求項 1】

気筒内に燃料を噴射する燃料噴射弁を備えた圧縮自着火式の内燃機関に適用され、前記燃料噴射弁にパイロット噴射を行わせ、その後前記燃料噴射弁にメイン噴射を行わせる内燃機関の制御装置であって、

前記メイン噴射によって前記気筒内に噴射された燃料の着火遅れと着火遅れの目標である着火遅れ目標値との乖離が小さくなるように、前記燃料噴射弁を制御する弁制御部と、拡散燃焼と予混合燃焼とが混在する領域での機関運転時には、前記気筒内における燃料の着火性を変化させるパラメータを基に推定される前記気筒内における燃料の着火性が高いほど前記着火遅れ目標値が小さくなるように、当該着火遅れ目標値を算出する目標算出部と、を備える

10

内燃機関の制御装置。

## 【請求項 2】

前記目標算出部は、前記パラメータである前記気筒内の燃料分圧が高いほど前記気筒内における燃料の着火性が高いと推定する

請求項 1 に記載の内燃機関の制御装置。

## 【請求項 3】

前記目標算出部は、前記パラメータである前記気筒内の酸素分圧が高いほど前記気筒内における燃料の着火性が高いと推定する

請求項 1 又は請求項 2 に記載の内燃機関の制御装置。

20

## 【請求項 4】

前記目標算出部は、前記パラメータである前記気筒内の温度が高いほど前記気筒内における燃料の着火性が高いと推定する

請求項 1 ~ 請求項 3 のうち何れか一項に記載の内燃機関の制御装置。

## 【請求項 5】

前記パラメータとしての前記気筒内の燃料分圧、前記気筒内の酸素分圧及び前記気筒内の温度を基に、燃料の着火性の指標を算出する指標算出部を備え、

前記目標算出部は、前記指標算出部によって算出された前記指標を基に、前記着火遅れ目標値を算出するようになっており、

「0」を前記指標とし、「Fuel」を前記気筒内の燃料分圧とし、「O<sub>2</sub>」を前記気筒内の酸素分圧とし、「T」を前記気筒内の温度とし、「M(T)」を前記気筒内の温度を変数とする関数とし、「A」、「B」及び「C」をモデル定数とした場合、

30

前記指標算出部は、以下に示す式を用いて前記指標を算出する

## 【数 1】

$$\tau_0 = \frac{1}{A \cdot [\text{Fuel}]^B \cdot [\text{O}_2]^C \cdot M(T)}$$

請求項 1 に記載の内燃機関の制御装置。

## 【請求項 6】

前記弁制御部は、前記パイロット噴射での燃料噴射量、及び、前記パイロット噴射の開始時期の少なくとも一方を調整することにより、前記着火遅れを前記着火遅れ目標値に近づける

40

請求項 1 ~ 請求項 5 のうち何れか一項に記載の内燃機関の制御装置。

## 【発明の詳細な説明】

## 【技術分野】

## 【0001】

本発明は、圧縮自着火式の内燃機関に適用される内燃機関の制御装置に関する。

## 【背景技術】

## 【0002】

特許文献 1 には、ピストンが圧縮上死点に達する前にパイロット噴射を燃料噴射弁に行

50

わせ、その後ピストンが圧縮上死点の近傍に達したときにメイン噴射を燃料噴射弁に行わせる内燃機関の制御装置の一例が記載されている。パイロット噴射によって気筒内に燃料が噴射されると、気筒内では予混合燃焼が行われ、気筒内の温度が高くなる。そして、気筒内の温度が十分に高くなった状態でメイン噴射が行われると、気筒内では拡散燃焼が行われるようになる。

【0003】

また、特許文献1に記載の制御装置では、燃料噴射弁の燃料噴射の開始時点から当該燃料の燃焼が開始されるまでの期間の長さである着火遅れが推定される。また、機関回転速度及び機関負荷率を変数とする所定の演算式を用いて着火遅れの目標である着火遅れ目標値が導出される。そして、着火遅れが着火遅れ目標値となるように、過給器のノズルベーンの開度が調整される。

10

【0004】

ここで、過給器のノズルベーンの開度を増大させると、過給器の過給圧を低下させることができる。そして、過給圧を低下させることにより、着火遅れを長くすることができる。

【0005】

そのため、上記の制御装置は、着火遅れが着火遅れ目標値よりも短いときには、ノズルベーンの開度を増大させる。一方、制御装置は、着火遅れが着火遅れ目標値よりも長いときには、ノズルベーンの開度を減少させる。

【先行技術文献】

20

【特許文献】

【0006】

【特許文献1】国際公開第2013/051109号

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0007】

機関運転時には、気筒内での燃焼に起因して生じる騒音である燃焼騒音が発生する。そして、拡散燃焼と予混合燃焼とが混在する領域での機関運転時には、過給圧の調整を通じて着火遅れが着火遅れ目標値と等しい状態を維持しても、燃焼騒音の大きさがばらつくことがある。

30

【0008】

なお、拡散燃焼と予混合燃焼とが混在する領域とは、予混合燃焼が拡散燃焼よりも先に開始されても予混合燃焼が未だ行われている最中に拡散燃焼が開始されるような領域のことである。

【課題を解決するための手段】

【0009】

上記課題を解決するための内燃機関の制御装置は、気筒内に燃料を噴射する燃料噴射弁を備えた圧縮自着火式の内燃機関に適用され、燃料噴射弁にパイロット噴射を行わせ、その後燃料噴射弁にメイン噴射を行わせる装置である。この制御装置は、メイン噴射によって気筒内に噴射された燃料の着火遅れと着火遅れの目標である着火遅れ目標値との乖離が小さくなるように、燃料噴射弁を制御する弁制御部と、拡散燃焼と予混合燃焼とが混在する領域での機関運転時には、気筒内における燃料の着火性を変化させるパラメータを基に推定される気筒内における燃料の着火性が高いほど着火遅れ目標値が小さくなるように、当該着火遅れ目標値を算出する目標算出部と、を備える。

40

【0010】

予混合燃焼速度が高いほど、気筒内での燃料の燃焼に起因する騒音である燃焼騒音が大きくなることが知られている。

また、発明者は、様々な実験やシミュレーションを行った結果、以下の知見を新たに得た。

・気筒内での燃料の着火性が低いほど予混合燃焼速度が低いこと。

50

## 【 0 0 1 1 】

こうした従来<sup>1</sup>の知見及び発明者の新たな知見に基づくと、気筒内での燃料の着火性が高いほど、予混合燃焼速度も高くなるため、燃焼騒音が大きくなることとなる。

ここで、更に発明者は以下の知見も得ている。

・ 拡散燃焼と予混合燃焼とが混在する領域での機関運転時では、気筒内での燃料の着火遅れが長くなるほど、拡散燃焼及び予混合燃焼のうち予混合燃焼が占める割合が大きくなり、その結果、燃焼騒音が大きくなること。

## 【 0 0 1 2 】

そこで、上記構成では、気筒内における燃料の着火性を変化させるパラメータを基に推定される気筒内における燃料の着火性に基づいて、メイン噴射によって気筒内に噴射された燃料の着火遅れ目標値を算出するようにしている。すなわち、推定される気筒内における燃料の着火性が高いほど着火遅れ目標値が小さくなるように、当該着火遅れ目標値が算出される。そして、メイン噴射によって気筒内に噴射された燃料の着火遅れと着火遅れ目標値との乖離が小さくなるように、燃料噴射弁が制御される。

10

## 【 0 0 1 3 】

上述したとおり、燃料の着火性が高いほど予混合燃焼速度が高くなり、燃焼騒音が大きくなりやすい。この点、上記構成によれば、燃料の着火性が高いほど着火遅れ目標値が小さくなる。そのため、燃料の着火性が高くなっても着火遅れ目標値を小さくすることにより、拡散燃焼及び予混合燃焼のうち予混合燃焼の占める割合が大きくなることを抑制できる。すなわち、燃料の着火性が上昇しても燃焼騒音が大きくなることを抑制できる。その結果、予混合燃焼速度、すなわち着火性の変化に起因する燃焼騒音の大きさの変化を抑制できる。その結果、機関運転状態がある状態で保持されているときには、気筒内における燃料の着火性を変化させるパラメータが変化しても、燃焼騒音の大きさの変化を抑制することができる。

20

## 【 0 0 1 4 】

したがって、上記構成によれば、拡散燃焼と予混合燃焼とが混在する領域での機関運転時における燃焼騒音の大きさのばらつきを抑制することができるようになる。

なお、気筒内の燃料分圧が高いほど気筒内における燃料の着火性が高くなりやすい。すなわち、気筒内の燃料分圧は、上記パラメータの一例である。そこで、目標算出部は、気筒内の燃料分圧が高いほど気筒内における燃料の着火性が高いと推定するようにしてもよい。

30

## 【 0 0 1 5 】

また、気筒内の酸素分圧が高いほど気筒内における燃料の着火性が高くなりやすい。すなわち、気筒内の酸素分圧は、上記パラメータの一例である。そこで、目標算出部は、気筒内の酸素分圧が高いほど気筒内における燃料の着火性が高いと推定するようにしてもよい。

## 【 0 0 1 6 】

また、気筒内の温度が高いほど気筒内における燃料の着火性が高くなりやすい。すなわち、気筒内の温度は、上記パラメータの一例である。そこで、目標算出部は、気筒内の温度が高いほど気筒内における燃料の着火性が高いと推定するようにしてもよい。

40

## 【 0 0 1 7 】

内燃機関の制御装置が、気筒内の燃料分圧、気筒内の酸素分圧及び気筒内の温度を基に、燃料の着火性の指標を算出する指標算出部を備えていることがある。この場合、目標算出部は、指標算出部によって算出された指標を基に、着火遅れ目標値を算出することが好ましい。

## 【 0 0 1 8 】

この際、「 $\theta$ 」を上記指標とし、「Fuel」を気筒内の燃料分圧とし、「O<sub>2</sub>」を気筒内の酸素分圧とし、「T」を気筒内の温度とし、「M(T)」を気筒内の温度「T」を変数とする関数とし、「A」、「B」及び「C」をモデル定数とした場合、指標算出部は、例えば、以下に示す式を用いることにより、上記パラメータを反映した上記指標を算

50

出することができる。このように算出された指標は、シングル噴射を行ったときの燃料の着火遅れの長さであり、燃料の着火性が高いほど小さくなる。そして、この指標を基に着火遅れ目標値を算出することにより、燃料の着火性が高いほど着火遅れ目標値を小さくすることを実現できる。

【0019】

【数1】

$$\tau_0 = \frac{1}{A \cdot [\text{Fuel}]^B \cdot [\text{O}_2]^C \cdot M(T)}$$

ところで、パイロット噴射での燃料噴射量を減少させることにより、メイン噴射によって気筒内に噴射された燃料の着火遅れを長くすることができる。そのため、弁制御部は、パイロット噴射での燃料噴射量を調整することにより、メイン噴射によって気筒内に噴射された燃料の着火遅れを着火遅れ目標値に近づけるようにしてもよい。

10

【0020】

また、パイロット噴射の開始時期を遅角させることにより、すなわちパイロット噴射の開始時期を調整してパイロット噴射とメイン噴射との間隔を短くすることにより、メイン噴射によって気筒内に噴射された着火遅れを長くすることができる。そのため、弁制御部は、パイロット噴射の開始時期を調整することにより、メイン噴射によって気筒内に噴射された燃料の着火遅れを着火遅れ目標値に近づけるようにしてもよい。

【図面の簡単な説明】

20

【0021】

【図1】内燃機関の制御装置の一実施形態である制御装置の機能構成と、同制御装置によって制御される内燃機関の概略構成とを示す図。

【図2】同内燃機関の燃料噴射弁から噴射された燃料の噴霧をモデル化した図。

【図3】燃料噴射弁を駆動させる際の処理手順を示すフローチャート。

【図4】予混合燃焼速度と燃焼騒音の大きさとの関係を示すグラフ。

【図5】気筒内での燃料の着火性と予混合燃焼速度との関係を示すグラフ。

【図6】気筒内での燃料の着火遅れと燃焼騒音の大きさとの関係を示すグラフ。

【図7】燃料の着火性の指標と着火遅れ目標値との関係を示すグラフ。

【図8】変更例において、燃料の着火性の指標と着火遅れ目標値との関係を示すグラフ。

30

【発明を実施するための形態】

【0022】

以下、内燃機関の制御装置の一実施形態を図1～図7に従って説明する。

図1には、本実施形態の制御装置60と、制御装置60によって制御される内燃機関10とが図示されている。内燃機関10は、圧縮自着火式の内燃機関である。内燃機関10は、複数の気筒11と、排気駆動式の過給器12とを備えている。内燃機関10の吸気通路21には、空気の流れ方向における上流から順に、エアクリーナ22、過給器12のコンプレッサ13、インタークーラ23及びスロットルバルブ24が配置されている。吸気通路21では、エアクリーナ22によって濾過された空気がコンプレッサ13に内蔵されているコンプレッサホイール13aによって圧縮された状態で送り出される。このように圧縮された空気は、インタークーラ23によって冷却される。そして、吸気通路21を介して気筒11内に導入される空気の量である吸入空気量は、スロットルバルブ24の開度の制御を通じて調整される。

40

【0023】

内燃機関10は、気筒11の数と同数の燃料噴射弁26を備えている。各燃料噴射弁26は、対応する気筒11内に燃料を直接噴射する。各燃料噴射弁26には、燃料供給装置27によって燃料が供給される。燃料供給装置27は、燃料タンクに貯留されている燃料を供給通路28を介して汲み上げるサプライポンプ29と、サプライポンプ29によって加圧された燃料が一時的に貯留されるコモンレール30とを有している。コモンレール30内の燃料が各燃料噴射弁26に供給される。そして、燃料噴射弁26から気筒11内に

50

燃料が噴射されると、圧縮された空気に燃料が触れて燃焼する。

【 0 0 2 4 】

各気筒 1 1 内での燃料の燃焼によって生じた排気は、排気通路 3 6 に排出される。排気通路 3 6 には、排気の流れ方向における上流から順に、過給器 1 2 のタービン 1 4、排気浄化装置 3 7 が配置されている。排気浄化装置 3 7 は、排気中の粒子状物質を捕集し、排気を浄化する。

【 0 0 2 5 】

タービン 1 4 に内蔵されているタービンホイール 1 4 a は、連結軸 1 5 を介してコンプレッサホイール 1 3 a に連結されている。そのため、排気の流れによってタービンホイール 1 4 a が回転すると、タービンホイール 1 4 a の回転に同期してコンプレッサホイール 1 3 a が回転する。その結果、コンプレッサ 1 3 により空気が加圧される。なお、タービン 1 4 におけるタービンホイール 1 4 a への排気吹付口には、ノズル開度の変更に応じて同排気吹付口の開口面積を変化させる可変ノズル 1 6 が設けられている。可変ノズル 1 6 のノズル開度を調整することにより、タービンホイール 1 4 a に吹き付けられる排気の流れを調整することができる。

10

【 0 0 2 6 】

内燃機関 1 0 には、排気通路 3 6 を流れる排気の一部を E G R ガスとして吸気通路 2 1 に還流させる E G R 装置 4 0 が設けられている。E G R 装置 4 0 は、排気通路 3 6 のうち、タービン 1 4 よりも上流側の部分から排気を取り出す E G R 通路 4 1 と、E G R 通路 4 1 を介した吸気通路 2 1 への E G R ガスの流量を調整する E G R 流量調整装置 4 2 とを有している。E G R 通路 4 1 は、吸気通路 2 1 においてスロットルバルブ 2 4 よりも下流側の部分と、排気通路 3 6 においてタービン 1 4 よりも上流側の部分とを接続する。こうした E G R 通路 4 1 には、E G R 通路 4 1 を流れる E G R ガスを冷却する E G R クーラ 4 3 が設けられている。そして、E G R 流量調整装置 4 2 のバルブが開弁している場合、排気通路 3 6 から E G R 通路 4 1 に流入した E G R ガスは、E G R クーラ 4 3 によって冷却されてから E G R 流量調整装置 4 2 を介して吸気通路 2 1 に導入される。

20

【 0 0 2 7 】

制御装置 6 0 には、吸気圧センサ 1 0 1、吸気温センサ 1 0 2、エアフロメータ 1 0 3、水温センサ 1 0 4、過給圧センサ 1 0 5、クランク角センサ 1 0 6 及び燃料圧センサ 1 0 7 などの各種のセンサから信号が入力される。

30

【 0 0 2 8 】

吸気圧センサ 1 0 1 は、吸気通路 2 1 におけるスロットルバルブ 2 4 よりも下流の部分における空気の圧力である吸気圧  $P_{im}$  を検出し、検出した吸気圧  $P_{im}$  に応じた信号を出力する。吸気温センサ 1 0 2 は、吸気通路 2 1 におけるインタークーラ 2 3 よりも下流の部分における空気の温度である吸気温  $T_{him}$  を検出し、検出した吸気温  $T_{him}$  に応じた信号を出力する。エアフロメータ 1 0 3 は、吸気通路 2 1 におけるコンプレッサ 1 3 よりも上流の部分における空気の流量である吸入空気量  $G_A$  を検出し、検出した吸入空気量  $G_A$  に応じた信号を出力する。水温センサ 1 0 4 は、内燃機関 1 0 のシリンダブロック内を流れる機関冷却水の温度である水温  $T_{hw}$  を検出し、検出した水温  $T_{hw}$  に応じた信号を出力する。過給圧センサ 1 0 5 は、過給器 1 2 による過給圧  $B_P$  を検出し、検出した過給圧  $B_P$  に応じた信号を出力する。過給圧センサ 1 0 5 は、大気圧を基準とするゲージ圧を過給圧  $B_P$  として検出する。クランク角センサ 1 0 6 は、内燃機関 1 0 の出力軸の回転速度である機関回転速度  $NE$  を検出し、検出した機関回転速度  $NE$  に応じた信号を出力する。燃料圧センサ 1 0 7 は、コモンレール 3 0 内の燃料の圧力であるコモンレール圧  $P_{cr}$  を検出し、検出したコモンレール圧  $P_{cr}$  に応じた信号を出力する。

40

【 0 0 2 9 】

そして、制御装置 6 0 は、各種のセンサ 1 0 1 ~ 1 0 7 の出力信号を基に、機関運転を制御する。

制御装置 6 0 は、機能部として、弁制御部 6 1 と、指標算出部 6 2 と、目標算出部 6 3 とを有している。

50

## 【0030】

弁制御部61は、燃料噴射弁26の駆動を制御する。具体的には、気筒11内で燃料を燃焼させるときに、パイロット噴射及びメイン噴射を燃料噴射弁26に行わせる。パイロット噴射とは、気筒11内で往復動するピストンが圧縮上死点に達する前に行われる燃料噴射である。メイン噴射とは、パイロット噴射の後に実行する燃料噴射であり、ピストンが圧縮上死点の近傍に達したときに行われる燃料噴射である。パイロット噴射によって気筒11内に燃料が噴射されると、気筒11内では予混合燃焼が行われ、気筒11内の温度が上昇する。このように気筒11内の温度が高くなった状態でメイン噴射が行われる。すると、気筒11内では拡散燃焼が行われる。この場合、先に開始された予混合燃焼が未だ行われている状態で拡散燃焼が開始されることがある。このように予混合燃焼が未だ行われている状態で拡散燃焼が開始されるような領域のことを、予混合燃焼と拡散燃焼とが混在する領域という。

10

## 【0031】

予混合燃焼と拡散燃焼とが混在する領域で機関運転が行われる場合、弁制御部61は、メイン噴射によって気筒11内に噴射された燃料の着火遅れが着火遅れ目標値  $t_{rg}$  に近づくように、燃料噴射弁26を制御する。着火遅れとは、燃料噴射弁26の燃料噴射の開始時点から当該燃料の燃焼が実際に開始されるまでの期間の長さである。着火遅れ目標値  $t_{rg}$  とは、着火遅れの目標のことである。

## 【0032】

指標算出部62は、気筒11内における燃料の着火性を変化させるパラメータを基に、気筒11内での燃料の着火性の指標  $\theta$  を算出する。ここでいう「燃料の着火性」とは、燃料の着火しやすさのことである。指標算出部62によって算出される指標  $\theta$  は、燃料噴射弁26にシングル噴射を行わせた際における燃料の着火遅れの長さである。この指標  $\theta$  は、気筒11内での燃料の着火性が高いほど小さい値となる。

20

## 【0033】

気筒11内における燃料の着火性を変化させるパラメータとしては、例えば、吸気温度  $T_{him}$ 、吸気圧  $P_{im}$ 、EGRガスの還流量、過給圧  $B_P$ 、機関冷却水の温度である水温  $T_{hw}$ 、外気温度及び外気圧を挙げることができる。

## 【0034】

例えば、指標算出部62は、以下に示すアレニウスの式(式1)を用いて指標  $\theta$  を算出する。式(式1)において、「Fuel」はメイン噴射の終了時点の気筒11内の燃料分圧であり、「O2」はメイン噴射の終了時点の気筒11内の酸素分圧であり、「T」はメイン噴射の開始時における気筒11内の温度である。「M(T)」は、気筒11内の温度「T」を変数とする関数である。すなわち、関数「M(T)」は、気筒11内の温度「T」が高いほど大きい値を導出できるような関数である。例えば、関数「M(T)」としては、以下の式(式2)の指数関数を採用することができる。この場合、モデル定数「D」は、気筒11内の温度「T」が高いほど、式(式2)の演算結果が大きくなるような値に設定されている。例えば、モデル定数「D」は負の値に設定されている。また、式(式1)における「A」、「B」及び「C」は、モデル定数であり、実験及びシミュレーションを通じて予め設定された値である。具体的には、モデル定数「B」は、燃料分圧「Fuel」が高いほど指標  $\theta$  を小さくできるような値に設定されている。モデル定数「C」は、酸素分圧「O2」が高いほど指標  $\theta$  を小さくできるような値に設定されている。例えば、モデル定数「B」、「C」は正の値に設定されている。そして、モデル定数「A」は、燃料分圧「Fuel」の「B」乗と、酸素分圧「O2」の「C」乗と、「M(T)」との積が大きいほど指標  $\theta$  を小さくできるような値に設定されている。例えば、モデル定数「A」は正の値に設定されている。

30

40

## 【0035】

## 【数 2】

$$\tau_0 = \frac{1}{A \cdot [\text{Fuel}]^B \cdot [\text{O}_2]^C \cdot M(T)} \quad \dots \text{(式1)}$$

$$M(T) = \exp\left(\frac{D}{T}\right) \quad \dots \text{(式2)}$$

燃料分圧「Fuel」は、気筒11内における燃料濃度Cfuelと気筒11内の圧力である筒内圧力Pcyとの積として算出される。燃料濃度Cfuelは、メイン噴射の終了時点における噴霧内当量比に依じた値となる。メイン噴射の終了時点における噴霧内当量比は、メイン噴射を燃料噴射弁26に行わせる際における噴射量の指示値を基に算出される。

10

## 【0036】

噴霧内当量比とは、燃料噴射弁26から気筒11内に噴射された燃料の噴霧内における当量比のことである。例えば、噴霧内当量比は、理論空燃比を噴霧内空燃比で割ることにより導出することができる。噴霧内空燃比とは、燃料噴射弁26から気筒11内に噴射された燃料の噴霧内における空燃比のことである。噴霧内空燃比は、噴霧内の空気量を噴霧内の燃料量で割ることにより導出することができる。噴霧内の空気量は、メイン噴射の終了時点における噴霧の体積Vと、気筒11内における酸素濃度Coxなどを基に算出する。

## 【0037】

ここで、図2を参照し、噴霧の体積Vの算出方法について説明する。図2に示すように、燃料噴射弁26から気筒11内に噴射された燃料の噴霧を円錐形状として仮定する。この場合、公知の広安の式を用いることにより、噴霧の体積Vを算出することができる。以下の関係式(式3)又は(式4)は、噴霧ペネトレーションSの算出式である。関係式(式3)は、燃料の噴射時間「t」が分裂時間「tc」未満であるときに用いられる式であり、関係式(式4)は、燃料の噴射時間「t」が分裂時間「tc」以上であるときに用いられる式である。分裂時間「tc」とは、燃料噴射弁26から噴射された燃料が液体から気体に状態変化するのに要する時間のことである。

20

## 【0038】

関係式(式3)及び(式4)において、「P」はコモンレール圧Pcrと筒内圧力Pcyとの差である。筒内圧力Pcyは、気筒11内への充填空気量と気筒11内におけるピストンの位置を基に推定することができる。もちろん、気筒11内の圧力を検出するセンサが設けられている場合、このセンサの検出値を筒内圧力Pcyとして採用してもよい。また、関係式(式3)及び(式4)において、「ρf」は燃料密度であり、「ρa」は空気密度である。「d0」は、燃料噴射弁26の噴孔の直径である。

30

## 【0039】

## 【数 3】

$$S = 0.39 \cdot \sqrt{2 \cdot \frac{\Delta P}{\rho_f}} \cdot t \quad \dots \text{(式3)}$$

$$S = 2.95 \cdot \left(\frac{\Delta P}{\rho_a}\right)^{0.35} \cdot \sqrt{d_0 \cdot t} \quad \dots \text{(式4)}$$

40

また、以下の関係式(式5)は、噴霧角θの算出式である。関係式(式5)において、「μa」は、空気の粘性係数であり、予め設定されている。

## 【0040】

## 【数 4】

$$\theta = 0.05 \cdot \left(\frac{\rho_a \cdot \Delta P \cdot d_0}{\mu_a}\right) \quad \dots \text{(式5)}$$

そして、以下の関係式(式6)は、噴霧の体積Vの算出式である。

50



【 0 0 4 1 】

【 数 5 】

$$V = \frac{1}{3} \cdot \pi \cdot \tan \theta^2 \cdot S^3 \quad \dots \text{(式 6)}$$

酸素濃度  $C_{ox}$  は、気筒 1 1 内に導入される空気の量と、気筒 1 1 内に導入される EGR ガスの量とを基に算出する。気筒 1 1 内に導入される空気の量として、例えば、エアフロメータ 1 0 3 によって検出される吸入空気量  $G_A$  を採用することができる。空気のうちの酸素が占める割合は、EGR ガスのうちの酸素が占める割合よりも大きい。そのため、酸素濃度  $C_{ox}$  は、EGR 装置 4 0 を介して吸気通路 2 1 に還流する EGR ガスの量が多いほど低くなるように算出される。

10

【 0 0 4 2 】

なお、EGR 流量調整装置 4 2 のバルブ開度及び排気通路 3 6 における排気の流量が一定で保持されている場合、EGR 装置 4 0 を介して吸気通路 2 1 に還流する EGR ガスの量である還流量は、排気通路 3 6 における排気の流量と、EGR 流量調整装置 4 2 のバルブ開度とを基に算出することができる。排気の流量は、吸入空気量  $G_A$  と機関回転速度  $N_E$  とに応じた値となる。

【 0 0 4 3 】

一方、EGR 流量調整装置 4 2 のバルブ開度及び排気の流量のうちの少なくとも一方が変化した場合、当該変化に対して EGR ガスの還流量の変化に応答遅れが生じる。本実施形態では、バルブ開度及び排気の流量のうちの少なくとも一方が変化したときに、還流量の変化がどの程度遅れるかを推定するマップが用意されている。そのため、バルブ開度及び排気の流量のうちの少なくとも一方が変化したときには、当該マップを用い、還流量を推定するようにしている。

20

【 0 0 4 4 】

関係式 (式 1) における気筒 1 1 内の酸素分圧「 $O_2$ 」は、気筒 1 1 内における酸素濃度  $C_{ox}$  と筒内圧力  $P_{cy}$  との積として算出される。

また、メイン噴射の開始時における気筒 1 1 内の温度「 $T$ 」は、吸気温  $T_{him}$  や水温  $T_{hw}$  を基に推定することができる。もちろん、気筒 1 1 内の温度を検出するセンサが設けられている場合、当該センサの検出値を気筒 1 1 内の温度「 $T$ 」として採用してもよい。

30

【 0 0 4 5 】

上述したように関係式 (式 1) における「 $Fuel$ 」、「 $O_2$ 」及び「 $T$ 」は、吸気通路 2 1 を流れる空気の温度、吸気通路 2 1 を流れる空気の圧力、EGR ガスの還流量及び水温  $T_{hw}$  に応じて変化する。よって、燃料分圧「 $Fuel$ 」、酸素分圧「 $O_2$ 」及び気筒 1 1 内の温度「 $T$ 」もまた、気筒 1 1 内における燃料の着火性を変化させるパラメータの一例であるということができる。そして、上記式 (式 1) を用いて算出した指標  $\theta$  は、気筒 1 1 内における燃料の着火性を変化させるパラメータに基づいた値である。

【 0 0 4 6 】

目標算出部 6 3 は、指標算出部 6 2 によって算出された指標  $\theta$  を基に、気筒 1 1 内における燃料の着火性を推定する。そして、目標算出部 6 3 は、指標  $\theta$  を基に推定した着火性が高いほど着火遅れ目標値  $t_{rg}$  が小さくなるように、着火遅れ目標値  $t_{rg}$  を算出する。本実施形態では、以下に示す関係式 (式 7) を用い、着火遅れ目標値  $t_{rg}$  が算出される。そのため、指標  $\theta$  の増大に対し、着火遅れ目標値  $t_{rg}$  を単調増加させることができる。すなわち、指標  $\theta$  を基に推定した着火性の上昇に対し、着火遅れ目標値  $t_{rg}$  を単調減少させることができる。なお、関係式 (式 7) における「 $F_{11}$ 」及び「 $F_{12}$ 」は、定数であり、実験及びシミュレーションに基づいて設定された値である。例えば、定数「 $F_{11}$ 」は正の値である。

40

【 0 0 4 7 】

【数6】

$$\tau_{trg} = F_{11} \cdot \tau_0 + F_{12} \dots \text{(式7)}$$

次に、図3を参照し、拡散燃焼と予混合燃焼とが混在する領域での機関運転時における燃料噴射の処理の流れについて説明する。

【0048】

図3に示す処理の流れの説明の前に、拡散燃焼と予混合燃焼とが混在する領域での機関運転が行われているか否かの推定方法について説明する。本実施形態では、メイン噴射によって気筒11内に噴射された燃料の着火遅れを基に当該推定を行う。例えば図6に示すように、メイン噴射によって気筒11内に噴射された燃料の着火遅れの推定値である着火遅れが規定時間  $T_h$  未満である場合には、拡散燃焼と予混合燃焼とが混在する領域で機関運転が行われていると推定することができる。一方、着火遅れが規定時間  $T_h$  以上である場合には、拡散燃焼と予混合燃焼とが混在する領域ではなく、予混合燃焼のみが行われる領域で機関運転が行われていると推定することができる。そのため、着火遅れが規定時間  $T_h$  未満であるときには、拡散燃焼と予混合燃焼とが混在する領域で機関運転が行われていると推定できるため、図3に示す一連の処理が実行される。

10

【0049】

なお、着火遅れは、例えば、過給圧  $BP$ 、吸入空気量  $GA$ 、水温  $Thw$ 、吸気温  $Thim$ 、メイン噴射の開始時期、及びメイン噴射による燃料噴射量を基に算出することができる。

20

【0050】

図3に示すように、ステップ  $S_{11}$  において、指標  $0$  の算出に必要な各種のパラメータが取得される。次のステップ  $S_{12}$  において、指標算出部  $62$  によって、上記の式(式1)を用い、指標  $0$  が算出される。続いて、ステップ  $S_{13}$  において、目標算出部  $63$  によって、上記関係式(式7)を用い、着火遅れ目標値  $trg$  が算出される。

【0051】

そして、次のステップ  $S_{14}$  において、弁制御部  $61$  によって、着火遅れが着火遅れ目標値  $trg$  となるように、燃料噴射弁  $26$  の駆動が制御される。本実施形態では、ステップ  $S_{14}$  では、メイン噴射に先立って実行されるパイロット噴射での燃料噴射量、すなわちパイロット噴射時における燃料噴射弁  $26$  への通電時間が調整される。例えば着火遅れが着火遅れ目標値  $trg$  よりも短い場合、弁制御部  $61$  はパイロット噴射での燃料噴射量を減少させる。一方、例えば着火遅れが着火遅れ目標値  $trg$  よりも長い場合、弁制御部  $61$  はパイロット噴射での燃料噴射量を増大させる。そして、一連の処理が一旦終了される。

30

【0052】

次に、図4～図7を参照し、本実施形態の作用及び効果について説明する。

図4には、予混合燃焼速度と、気筒11内での燃料の燃焼に起因する騒音である燃焼騒音の大きさとの関係が図示されている。図4に示すように、予混合燃焼速度が高いほど、燃焼騒音が大きくなる。これは、予混合燃焼速度が高いほど、火炎が気筒11内に一気に広がるためである。気筒11内で火炎が広がる速度が高いほど、燃焼騒音が大きくなりやすい。

40

【0053】

図5には、気筒11内に噴射された燃料の着火性と、予混合燃焼速度との関係が図示されている。図5に示すグラフは、実験及びシミュレーションによって得られた結果である。図5に示すグラフからは、気筒11内での燃料の着火性が低いほど、予混合燃焼速度が低くなることを読み取ることができる。つまり、指標  $0$  が大きいほど、予混合燃焼速度が低くなるということができる。

【0054】

図6には、着火遅れと、燃焼騒音の大きさとの関係が図示されている。図6に示すよ

50

うに、着火遅れ  $\tau$  が規定時間  $T_h$  未満である場合、気筒 1 1 内では、拡散燃焼と予混合燃焼とが混在する。一方、着火遅れ  $\tau$  が規定時間  $T_h$  以上である場合、気筒 1 1 内では、予混合燃焼のみが行われる。図 6 に示すグラフからは、拡散燃焼と予混合燃焼とが混在する領域での機関運転時には着火遅れ  $\tau$  が長くなるにつれて燃焼騒音が大きくなることを読み取ることができる。これは、拡散燃焼と予混合燃焼とが混在する領域での機関運転時では、気筒内での燃料の着火遅れが長くなるほど、拡散燃焼及び予混合燃焼のうち予混合燃焼が占める割合が大きくなり、その結果、燃焼騒音が大きくなるためと考えられる。具体的には、気筒 1 1 内での燃料の着火性が低いほど、気筒内での燃料の着火遅れが長くなりやすい。また、気筒 1 1 内での燃料の着火性が低いほど、予混合燃焼速度が低くなりやすい。そして、予混合燃焼速度が低いほど、拡散燃焼及び予混合燃焼のうち予混合燃焼が占める割合が大きくなりやすい。よって、着火遅れが長くなるほど、予混合燃焼速度が低くなるため、拡散燃焼及び予混合燃焼のうち予混合燃焼が占める割合が大きくなる。その結果、燃焼騒音が大きくなる。

10

【0055】

そして、拡散燃焼と予混合燃焼とが混在する領域での機関運転時における燃焼騒音と着火遅れ  $\tau$  との関係は、以下の式(式 8)のような近似式で表すことができる。なお、式(式 8)において、「 $P_1$ 」、「 $P_2$ 」及び「 $P_3$ 」は定数である。

【0056】

【数 7】

$$\text{燃焼騒音} \propto P_1 \cdot \tau^{P_2} + P_3 \quad \dots \text{(式 8)}$$

20

上述したように指標  $\tau_0$  と予混合燃焼速度との間の関係は反比例の関係であり、燃焼騒音と着火遅れ  $\tau$  との関係は上記式(式 8)のように表すことができる。そのため、燃焼騒音と、着火遅れ  $\tau$  及び指標  $\tau_0$  との関係は、以下の式(式 9)のように表すことができる。

【0057】

【数 8】

$$\text{燃焼騒音} \propto (P_1 \cdot \tau^{P_2} + P_3) / \tau_0 \quad \dots \text{(式 9)}$$

30

燃焼騒音が一定値「Const」であるとした場合、式(式 9)は、式(式 10)のように表すことができる。そして、燃焼騒音が一定値「Const」になるときの着火遅れを着火遅れ目標値  $\tau_{trg}$  とする場合、着火遅れ目標値  $\tau_{trg}$  を以下の式(式 11)で表すことができる。

【0058】

【数 9】

$$\text{Const} = (P_1 \cdot \tau^{P_2} + P_3) / \tau_0 \quad \dots \text{(式 10)}$$

$$\tau_{trg} = \left( \frac{\text{Const} \cdot \tau_0 - P_3}{P_1} \right)^{\frac{1}{P_2}} \quad \dots \text{(式 11)}$$

40

式(式 11)からも明らかのように、指標  $\tau_0$  が大きいほど着火遅れ目標値  $\tau_{trg}$  を大きくすることにより、燃焼騒音の大きさを一定値で保持することが可能となる。そして、式(式 11)における定数「 $P_2$ 」を「1」とすることにより、上記関係式(式 7)を導出することができる。

【0059】

そこで、本実施形態では、このように導出した関係式(式 7)を用い、着火遅れ目標値  $\tau_{trg}$  を算出するようにしている。図 7 における実線は、関係式(式 7)を用いて算出した着火遅れ目標値  $\tau_{trg}$  と指標  $\tau_0$  との関係を表す線である。図 7 における破線は、

50

燃料の着火性、すなわち指標 0 に拘わらず着火遅れ目標値  $t_{rg}$  を設定する場合の比較例 1 を表す線である。

【0060】

比較例 1 の場合では、内燃機関 10 の運転状態、すなわち機関回転速度  $N_E$  及び機関負荷率  $K_L$  が一定であるときに、燃料の着火性を変化させるパラメータ、すなわち着火性の指標 0 が変化しても着火遅れ目標値  $t_{rg}$  が変化しない。その結果、当該パラメータが変化すると、燃焼騒音の大きさが変化してしまう。

【0061】

これに対し、本実施形態では、指標 0 を基に燃料の着火性を推定し、着火性が高いほど着火遅れ目標値  $t_{rg}$  が小さくなるように、着火遅れ目標値  $t_{rg}$  が算出される。そして、メイン噴射によって気筒 11 内に噴射された燃料の着火遅れ  $t_{rg}$  を着火遅れ目標値  $t_{rg}$  に近づけるべく、燃料噴射弁 26 が制御される。すなわち、メイン噴射によって気筒 11 内に噴射された燃料の着火遅れ  $t_{rg}$  と着火遅れ目標値  $t_{rg}$  との乖離が小さくなるように、燃料噴射弁 26 が制御される。その結果、上記パラメータが変化すること起因して燃焼騒音の大きさが変化することを抑制できる。

10

【0062】

したがって、本実施形態によれば、拡散燃焼と予混合燃焼とが混在する領域での機関運転時における燃焼騒音の大きさのばらつきを抑制することができる。

上記実施形態は、以下のように変更して実施することができる。上記実施形態及び以下の変更例は、技術的に矛盾しない範囲で互いに組み合わせて実施することができる。

20

【0063】

・メイン噴射で気筒 11 内に噴射された燃料の着火遅れ  $t_{rg}$  は、パイロット噴射の開始時期によっても変わる。具体的には、パイロット噴射の開始時期を遅角させてパイロット噴射の時期とメイン噴射の時期との間隔を狭くすることにより、メイン噴射で気筒 11 内に噴射された燃料の着火遅れを長くすることができる。そこで、着火遅れ  $t_{rg}$  が着火遅れ目標値  $t_{rg}$  よりも短いときにはパイロット噴射の時期を遅角させる一方、着火遅れ  $t_{rg}$  が着火遅れ目標値  $t_{rg}$  よりも長いときにはパイロット噴射の時期を進角させるようにしてもよい。

【0064】

・メイン噴射で気筒 11 内に噴射された燃料の着火遅れ  $t_{rg}$  が着火遅れ目標値  $t_{rg}$  と相違しているときには、パイロット噴射による燃料噴射量、及び、パイロット噴射の開始時期の双方を調整するようにしてもよい。

30

【0065】

・メイン噴射の開始時期の変更を通じ、メイン噴射によって気筒 11 内に噴射された燃料の着火遅れ  $t_{rg}$  と着火遅れ目標値  $t_{rg}$  との乖離を小さくするようにしてもよい。この場合、着火遅れ  $t_{rg}$  と着火遅れ目標値  $t_{rg}$  との乖離を小さくするためのパイロット噴射による燃料噴射量の調整、及び、パイロット噴射の開始時期の調整を行わなくてもよい。

【0066】

・上記実施形態では、一次関数である上記関係式(式 7)を用いて着火遅れ目標値  $t_{rg}$  を算出するようにしている。しかし、指標 0 の減少に対して着火遅れ目標値  $t_{rg}$  を単調減少させることができるのであれば、上記関係式(式 7)とは別の式を用い、着火遅れ目標値  $t_{rg}$  を算出するようにしてもよい。例えば、以下の関係式(式 12)のような二次関数を用い、着火遅れ目標値  $t_{rg}$  を算出するようにしてもよい。関係式(式 12)における「F21」、「F22」及び「F23」は、定数であり、実験及びシミュレーションに基づいて設定された値である。なお、関係式(式 12)は、上記式(式 11)における定数「P2」を「0.5」とすることにより導出することができる。

40

【0067】

【数 10】

$$\tau t r g = F 2 1 \cdot \tau 0^2 + F 2 2 \cdot \tau 0 + F 2 3 \dots \text{(式 1 2)}$$

そして、関係式(式 9)を用いて着火遅れ目標値  $t r g$  を算出する場合、指標 0 の変化に対し、図 8 に示すように着火遅れ目標値  $t r g$  が推移するようになる。

【0068】

・アレニウスの式(式 1)における関数「 $M(T)$ 」は、気筒 11 内の温度「 $T$ 」が高いほど演算結果を大きい値とすることができるのであれば、上記式(式 2)とは異なる関数であってもよい。

10

【0069】

・上記実施形態では、アレニウスの式(式 1)を用いて指標 0 を算出するようにしている。しかし、指標 0 を、気筒 11 内での燃焼の着火性に応じた値とすることができるのであれば、指標 0 の算出に際して式(式 1)を用いなくてもよい。

【0070】

例えば、メイン噴射の終了時点の気筒 11 内の燃料分圧「 $F u e l$ 」が高いほど指標 0 を小さくすることができるのであれば、式(式 1)を用いなくて指標 0 を算出するようにしてもよい。

【0071】

また、メイン噴射の終了時点の気筒 11 内の酸素分圧「 $O 2$ 」が高いほど指標 0 を小さくすることができるのであれば、式(式 1)を用いなくて指標 0 を算出するようにしてもよい。

20

【0072】

また、メイン噴射の開始時における気筒 11 内の温度「 $T$ 」が高いほど指標 0 を小さくすることができるのであれば、式(式 1)を用いなくて指標 0 を算出するようにしてもよい。

【0073】

・指標 0 を基に燃料の着火性を推定するのではなく、気筒 11 内における燃料の着火性を変化させるパラメータから着火性を直接推定するようにしてもよい。例えば、メイン噴射の終了時点の気筒 11 内の燃料分圧「 $F u e l$ 」を基に着火性を推定するようにしてもよい。また、メイン噴射の終了時点の気筒 11 内の酸素分圧「 $O 2$ 」を基に着火性を推定するようにしてもよい。また、メイン噴射の開始時における気筒 11 内の温度「 $T$ 」を基に着火性を推定するようにしてもよい。

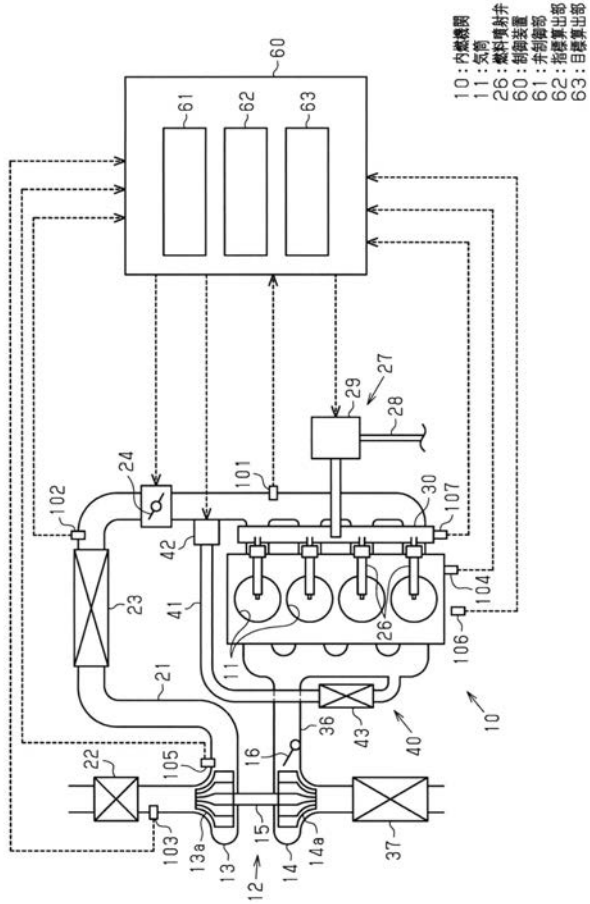
30

【符号の説明】

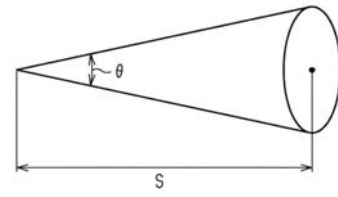
【0074】

10 ... 内燃機関、11 ... 気筒、26 ... 燃料噴射弁、60 ... 制御装置、61 ... 弁制御部、62 ... 指標算出部、63 ... 目標算出部。

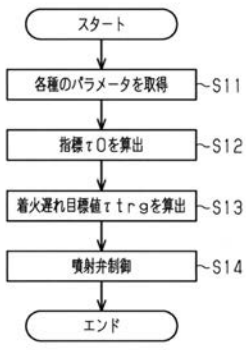
【図1】



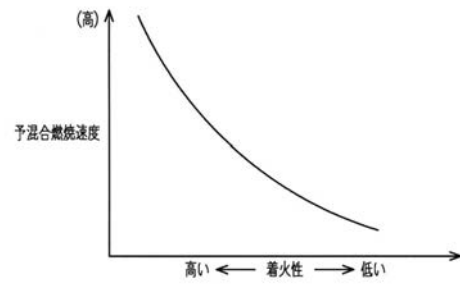
【図2】



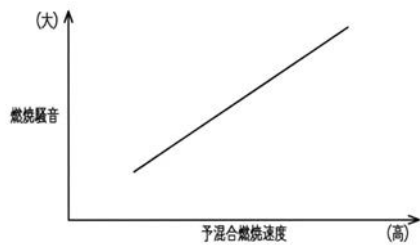
【図3】



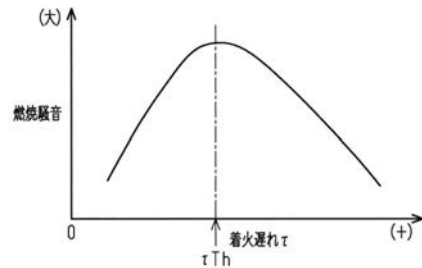
【図5】



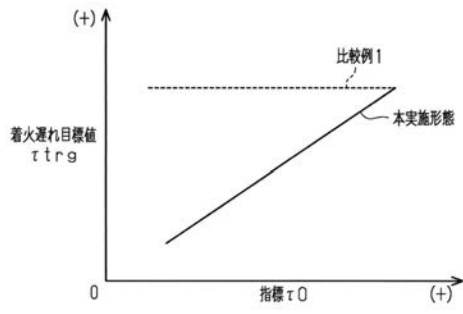
【図4】



【図6】



【 図 7 】



【 図 8 】

