



**【特許請求の範囲】****【請求項 1】**

内燃機関で燃焼させる燃料を噴孔から噴射する燃料噴射弁と、前記噴孔から燃料を噴射させることに伴い前記噴孔に至るまでの燃料供給経路内の燃料圧力を検出する燃圧センサと、を備えた燃料噴射システムに適用され、

前記燃圧センサの検出値に基づき、燃料噴射に伴い生じた圧力変化を表す圧力波形を取得する圧力波形取得手段と、

噴射率波形を特定するのに要する噴射率パラメータを、前記圧力波形に基づき算出する噴射率パラメータ算出手段と、

算出した前記噴射率パラメータを、噴射量と関連付けた学習値として記憶するパラメータ学習手段と、

前記噴射量の変化に伴い生じる前記学習値の周期的な変化を表した学習うねり波形を、前記圧力波形に含まれる圧力うねり成分に基づき推定する学習うねり波形推定手段と、

要求噴射量に対応する前記噴射率パラメータの値を、前記学習うねり波形を用いて前記学習値を補間して算出する補間手段と、を備えることを特徴とする燃料噴射制御装置。

10

**【請求項 2】**

前記圧力うねり成分は、前記圧力波形のうち、噴射率上昇に伴い生じる圧力下降が停止した以降の部分から抽出した波形であることを特徴とする請求項 1 に記載の燃料噴射制御装置。

20

**【請求項 3】**

前記噴射率パラメータの 1 つは、前記噴射率波形のうち前記燃料噴射弁の閉弁作動に伴い噴射率が下降する部分の波形を特定するのに要する噴射率パラメータであることを特徴とする請求項 1 または 2 に記載の燃料噴射制御装置。

**【請求項 4】**

前記噴射率パラメータの 1 つは、前記燃料噴射弁の閉弁作動に伴い噴射率が下降する速度であることを特徴とする請求項 3 に記載の燃料噴射制御装置。

**【請求項 5】**

前記噴射率パラメータの 1 つは、前記燃料噴射弁へ閉弁を指令してから前記燃料噴射弁が閉弁作動を開始するまでの遅れ時間であることを特徴とする請求項 3 または 4 に記載の燃料噴射制御装置。

30

**【請求項 6】**

前記学習うねり波形推定手段は、推定した前記学習うねり波形を、噴射開始時における前記燃料噴射弁への燃料供給圧力と関連付けて学習し、

前記補間手段は、現時点での前記燃料供給圧力に対応する前記学習うねり波形を用いて前記補間を行うことを特徴とする請求項 1 ~ 5 のいずれか 1 つに記載の燃料噴射制御装置。

**【請求項 7】**

前記学習うねり波形推定手段は、前記圧力うねり成分に基づくとともに、前記圧力波形の圧力の積算値にも基づいて前記学習うねり波形を推定することを特徴とする請求項 1 ~ 6 のいずれか 1 つに記載の燃料噴射制御装置。

40

**【発明の詳細な説明】****【技術分野】****【0001】**

本発明は、内燃機関の燃料噴射弁から燃料を噴射させることに伴い生じる燃料圧力の変化を燃圧センサで検出し、検出した圧力波形から算出される噴射率パラメータに基づき、燃料噴射弁の作動を制御する燃料噴射制御装置に関する。

**【背景技術】****【0002】**

内燃機関の出力トルク及びエミッション状態を精度良く制御するには、燃料噴射弁から

50

噴射される燃料の噴射量及び噴射開始時期等、その噴射状態を精度良く制御することが重要である。

【0003】

そこで特許文献1, 2等には、コモンレールの吐出口から燃料噴射弁の噴孔に至るまでの燃料供給経路内で噴射に伴い生じる燃料圧力の変化を燃圧センサで検出している。燃圧センサにより検出される圧力の波形(圧力波形)は、時間に対する噴射率の変化を表す波形(噴射率波形)と相関が高いため、圧力波形に基づけば噴射率波形(噴射状態)を推定できる。したがって、圧力波形を検出すれば実際の噴射状態を学習することができ、この学習値に基づき次回からの噴射指令信号を設定することで、噴射状態を所望する状態に精度良く制御することを図っている。

10

【先行技術文献】

【特許文献】

【0004】

【特許文献1】特開2010-3004号公報

【特許文献2】特開2009-57924号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0005】

上記学習の内容に関し、本発明者は次のように検討した。すなわち、噴射率波形を特定するのに要する各種の噴射率パラメータを、圧力波形から算出して学習する。噴射率パラメータの具体例としては、噴射率の上昇速度 $R$  や下降速度 $R$ 、噴射開始遅れ時間 $t_d$ 、噴射終了遅れ時間 $t_e$ 、最大噴射率 $R_{max}$ 等が挙げられる(図2参照)。

20

【0006】

また、これらの噴射率パラメータは、その都度の噴射量に応じて異なる値となるため、噴射量と関連付けて学習させることを本発明者は検討した。そして、現時点で要求されている噴射量に対応した噴射率パラメータの値を、前記学習値を線形補間することで取得し、取得した噴射率パラメータに基づき噴射指令信号を設定する。

【0007】

しかし、本発明者が各種試験を実施したところ、噴射量と噴射率パラメータとの関係は単純な比例関係ではなく、図6(c)(d)に例示する如く周期的に変化することが明らかとなった。そのため、上述の線形補間により得られた噴射率パラメータを用いて噴射指令信号を設定すると、噴射状態を所望の状態に精度良く制御できなくなる、といった課題を本発明者は見出した。

30

【0008】

本発明は、上記課題を解決するためになされたものであり、その目的は、燃料の噴射状態を高精度で制御できる燃料噴射制御装置を提供することにある。

【課題を解決するための手段】

【0009】

以下、上記課題を解決するための手段、及びその作用効果について記載する。

【0010】

請求項1記載の発明では、内燃機関で燃焼させる燃料を噴孔から噴射する燃料噴射弁と、前記噴孔から燃料を噴射させることに伴い前記噴孔に至るまでの燃料供給経路内の燃料圧力を検出する燃圧センサと、を備えた燃料噴射システムに適用されることを前提とする。

40

【0011】

そして、前記燃圧センサの検出値に基づき、燃料噴射に伴い生じた圧力変化を表す圧力波形を取得する圧力波形取得手段と、噴射率波形を特定するのに要する噴射率パラメータを、前記圧力波形に基づき算出する噴射率パラメータ算出手段と、算出した前記噴射率パラメータを、噴射量と関連付けた学習値として記憶するパラメータ学習手段と、前記噴射量の変化に伴い生じる前記学習値の周期的な変化を表した学習うねり波形を、前記圧力波

50

形に含まれる圧力うねり成分に基づき推定する学習うねり波形推定手段と、要求噴射量に対応する前記噴射率パラメータの値を、前記学習うねり波形を用いて前記学習値を補間して算出する補間手段と、を備えることを特徴とする。

【0012】

噴射率パラメータと噴射量との関係は単純な比例関係ではなく、図6(c)(d)に例示する如く周期的に変化する学習うねり波形となることは先述した通りである。そして本発明者は、前記学習うねり波形が、圧力波形中に現れる圧力うねり成分(図6(b)参照)と相関があることを見出した。具体的には、学習うねり波形と圧力うねり成分とでは、うねりの周期、振幅、減衰率等について相関がある(図6参照)。

【0013】

この点を鑑みた上記発明では、圧力うねり成分に基づき学習うねり波形を推定し、推定した学習うねり波形を用いて学習値を補間して要求噴射量に対応する噴射率パラメータの値を算出するので、学習値を線形補間して算出した噴射率パラメータに基づき噴射指令信号を設定する場合に比べて、燃料の噴射状態を高精度で制御できる。

【0014】

請求項2記載の発明では、前記圧力うねり成分は、前記圧力波形のうち、噴射率上昇に伴い生じる圧力下降が停止してから、噴射率下降に伴い生じる圧力上昇が停止するまでの部分から抽出した波形であることを特徴とする。

【0015】

ここで、圧力うねり成分の発生メカニズムについて説明すると、噴孔近傍で生じた圧力変化が脈動となって燃料供給経路を伝播し、いずれかの部位でその脈動が反射して伝播していく。そのため、このような脈動は燃圧センサへ周期的に伝播されてくることとなり、その脈動を燃圧センサが検出することに起因して圧力うねり成分は生じる。

【0016】

この圧力うねり成分は、以下に説明する前段うねり成分 $W_c$ と自うねり成分 $W_d$ とに分類できることを本発明者は考察した。すなわち、前段うねり成分 $W_c$ とは、図2(c)および図6(b)に例示するように多段噴射時における前段噴射の影響により生じたものである。この前段うねり成分 $W_c$ は、今回の噴射にかかる圧力波形の全体に重畳するものであり、前段の噴射状態に基づき推測して、推測した前段うねり成分 $W_c$ を今回の噴射にかかる圧力波形から差し引けば除去できる。

【0017】

一方、自うねり成分 $W_d$ とは、図6(b)に例示するように自身の噴射の影響により生じた圧力うねり成分であり、噴射率上昇に伴い生じる自噴射の圧力下降により生じた脈動に起因して生じたものである。したがって、この自うねり成分 $W_d$ については推定が困難であり、圧力波形から差し引いて除去することも困難である。

【0018】

この点を鑑みた上記発明では、噴射率上昇に伴い生じる圧力下降が停止した以降の部分から抽出した波形(つまり自うねり成分 $W_d$ )を学習うねり波形推定手段による推定の対象とするので、除去が困難な自うねり成分の影響を加味した噴射率パラメータを補間により取得できるので、燃料の噴射状態を高精度で制御できる。

【0019】

請求項3記載の発明では、前記噴射率パラメータの1つは、前記噴射率波形のうち前記燃料噴射弁の閉弁作動に伴い噴射率が下降する部分の波形を特定するのに要する噴射率パラメータであることを特徴とする。

【0020】

上述した自うねり成分による影響は、圧力波形のうち、噴射率上昇に伴い燃圧が上昇する部分には殆ど重畳せず、最大噴射率で噴射する期間および噴射率下降に対応する部分に主に重畳する。この点を鑑みた上記発明では、噴射率下降に関する噴射率パラメータを補間手段による補間の対象とするので、自うねり成分の影響を加味した噴射率パラメータに基づき噴射指令信号を設定することができ、燃料の噴射状態を高精度で制御できる。

10

20

30

40

50

## 【0021】

請求項4記載の発明では、前記噴射率パラメータの1つは、前記燃料噴射弁の閉弁作動に伴い噴射率が下降する速度であることを特徴とする。

## 【0022】

図6(b)中の符号Wdは、自うねり成分により燃圧センサが変動する様子を示すものであるが、自うねり成分により燃圧が高くなっているタイミング(符号A3参照)で、噴射率下降に伴う圧力上昇を開始させるような噴射の場合には、燃料噴射弁が備える弁体の閉弁作動速度が遅くなることに起因して、圧力波形の上昇速度(噴射率の下降速度)が遅くなる。一方、自うねり成分により燃圧が低くなっているタイミング(符号A2参照)で、噴射率下降に伴う圧力上昇が開始した場合には、前記弁体の閉弁作動速度が前記A3のタイミングで圧力上昇する場合に比べて、圧力波形の上昇速度(噴射率の下降速度)が遅くなる。

10

## 【0023】

このように、噴射率下降速度は自うねり成分の影響を大きく受けるので、このような噴射率下降速度を噴射率パラメータの1つとして、学習うねり波形を用いた補間を実施する上記発明によれば、自うねり成分の影響を加味して補間することによる噴射精度向上の効果が好適に発揮される。

## 【0024】

請求項5記載の発明では、前記噴射率パラメータの1つは、前記燃料噴射弁へ閉弁を指令してから前記燃料噴射弁が閉弁作動を開始するまでの遅れ時間であることを特徴とする。

20

## 【0025】

自うねり成分により燃圧が高くなっているタイミング(図6(a)中の符号A3参照)で、噴射率下降に伴う圧力上昇を開始させるような噴射の場合には、閉弁を指令してから燃料噴射弁が閉弁作動を開始するまでの遅れ時間が長くなる。一方、自うねり成分により燃圧が低くなっているタイミング(符号A2参照)で、噴射率下降に伴う圧力上昇を開始させるような噴射の場合には、前記遅れ時間は短くなる。

## 【0026】

このように、燃料噴射弁へ閉弁を指令してから閉弁作動を開始するまでの遅れ時間は自うねり成分の影響を大きく受けるので、このような閉弁の遅れ時間を噴射率パラメータの1つとして、学習うねり波形を用いた補間を実施する上記発明によれば、自うねり成分の影響を加味して補間することによる噴射精度向上の効果が好適に発揮される。

30

## 【0027】

請求項6記載の発明では、前記学習うねり波形推定手段は、推定した前記学習うねり波形を、噴射開始時における前記燃料噴射弁への燃料供給圧力と関連付けて学習し、前記補間手段は、現時点での前記燃料供給圧力に対応する前記学習うねり波形を用いて前記補間を行うことを特徴とする。

## 【0028】

ここで、噴射率パラメータは、噴射指令信号が同じであってもその時の燃料供給圧力に応じて異なる値となる。この点を鑑みた上記発明によれば、推定した学習うねり波形を燃料供給圧力と関連付けて学習し、現時点での燃料供給圧力に対応する学習うねり波形を用いて補間して噴射率パラメータを算出するので、噴射指令信号の設定に用いる噴射率パラメータを高精度で算出でき、燃料の噴射状態を高精度で制御できる。

40

## 【0029】

請求項7記載の発明では、前記学習うねり波形推定手段は、前記圧力うねり成分に基づくとともに、前記圧力波形の圧力の積算値にも基づいて前記学習うねり波形を推定することを特徴とする。

## 【0030】

学習値が圧力うねり成分の影響を受けて変化することは先述した通りであるが、圧力波形の履歴(圧力の積算値)に応じて以下に例示するように学習値は変化する。

50

## 【 0 0 3 1 】

例えば、請求項 4 記載の如く噴射率が下降する速度を学習値とした場合において、弁体の閉弁作動開始時期（図 8（a）中の符号 L 2 3 参照）が同じ（つまり図 6（b）に示す圧力上昇開始時期 A 2 , A 3 が同じ）であっても、その閉弁作動開始時期の直前での弁体のリフトアップ速度（図 8（a）中の符号 L 参照）が速いほど、弁体のリフトアップ慣性力が大きくなるので、噴射率下降速度は遅くなる。そして、前記リフトアップ速度は、閉弁作動開始時期に至るまでの圧力波形の圧力積算値が大きいほど速くなるので、圧力積算値が大きいほど噴射率下降速度（学習値）を遅くすればよい。

## 【 0 0 3 2 】

また、請求項 5 記載の如く燃料噴射弁が閉弁作動を開始するまでの遅れ時間を学習値とした場合においては、弁体の閉弁作動開始時期 L 2 3 が同じであっても、その閉弁作動開始時期の直前での弁体のリフトアップ速度が速いほど、弁体のリフトアップ慣性力が大きくなるので、弁体が閉弁作動を開始しにくくなり前記遅れ時間は長くなる。そして、前記リフトアップ速度は、閉弁作動開始時期に至るまでの圧力波形の圧力積算値が大きいほど長くなるので、圧力積算値が大きいほど閉弁に係る遅れ時間（学習値）を長くすればよい。

## 【 0 0 3 3 】

以上に例示する如く、圧力波形の圧力積算値に応じて学習値が変化することに着目し、上記発明では、圧力波形の圧力の積算値に基づき学習うねり波形を推定するので、学習うねり波形の推定精度を向上できる。

## 【 0 0 3 4 】

圧力積算値に基づき学習うねり波形を推定する具体例としては、図 8（d）中の実線 W g と点線 W g 1 にて比較される如く、学習うねり波形の位相を遅角させる遅角量（図 8（d）中の符号 g a 参照）を圧力積算値に応じて調節する。また、図 8（d）中の実線 W g と一点鎖線 W g 2 にて比較される如く、学習うねり波形の値を高くさせるオフセット量（図 8（d）中の符号 g b 参照）を圧力積算値に応じて調節することが挙げられる。

## 【 図面の簡単な説明 】

## 【 0 0 3 5 】

【 図 1 】本発明の第 1 実施形態にかかる燃料噴射制御装置が適用される、燃料噴射システムの概略を示す図である。

【 図 2 】噴射指令信号に対応する噴射率および燃圧の変化を示す図である。

【 図 3 】図 1 の E C U の機能のうち、燃料噴射弁に対する噴射指令信号の設定等の機能を説明するブロック図である。

【 図 4 】図 1 の E C U が噴射率パラメータを算出する手順を示すフローチャートである。

【 図 5 】噴射時圧力波形 W a 、非噴射時圧力波形 W u 、噴射波形 W b を示す図である。

【 図 6 】図 3 の補間手段が実施する補間の手法を説明する図である。

【 図 7 】図 3 の設定手段により噴射指令信号を設定する処理の手順を示すフローチャートである。

【 図 8 】本発明の第 2 実施形態において、学習うねり波形を推定する手法を説明する図である。

## 【 発明を実施するための形態 】

## 【 0 0 3 6 】

以下、本発明を具体化した各実施形態を図面に基いて説明する。なお、以下に説明する燃料噴射制御装置は、車両用のエンジン（内燃機関）に搭載されたものであり、当該エンジンには、複数の気筒 # 1 ~ # 4 について高圧燃料を噴射して圧縮自着火燃焼させるディーゼルエンジンを想定している。

## 【 0 0 3 7 】

## （第 1 実施形態）

図 1 は、上記エンジンの各気筒に搭載された燃料噴射弁 1 0、各々の燃料噴射弁 1 0 に搭載された燃圧センサ 2 0、及び車両に搭載された電子制御装置である E C U 3 0 等を示

10

20

30

40

50

す模式図である。

【0038】

先ず、燃料噴射弁10を含むエンジンの燃料噴射システムについて説明する。燃料タンク40内の燃料は、燃料ポンプ41によりコモンレール42（蓄圧容器）に圧送されて蓄圧され、各気筒の燃料噴射弁10（#1～#4）へ分配供給される。複数の燃料噴射弁10（#1～#4）は、予め設定された順番で燃料の噴射を順次行う。

【0039】

なお、燃料ポンプ41にはプランジャポンプが用いられているため、プランジャの往復動に同期して燃料は圧送される。そして、当該燃料ポンプ41はエンジン出力を駆動源としてクランク軸により駆動するので、1燃焼サイクル中に決められた回数だけ燃料ポンプ41から燃料を圧送することとなる。

【0040】

燃料噴射弁10は、以下に説明するボデー11、ニードル形状の弁体12及びアクチュエータ13等を備えて構成されている。ボデー11は、内部に高压通路11aを形成するとともに、燃料を噴射する噴孔11bを形成する。弁体12は、ボデー11内に收容されて噴孔11bを開閉する。

【0041】

ボデー11内には弁体12に背圧を付与する背圧室11cが形成されており、高压通路11a及び低压通路11dは背圧室11cと接続されている。高压通路11a及び低压通路11dと背圧室11cとの連通状態は制御弁14により切り替えられており、電磁コイルやピエゾ素子等のアクチュエータ13へ通電して制御弁14を図1の下方へ押し下げ作動させると、背圧室11cは低压通路11dと連通して背圧室11c内の燃料圧力は低下する。その結果、弁体12へ付与される背圧力が低下して弁体12はリフトアップ（開弁作動）する。これにより、弁体12のシート面12aがボデー11のシート面11eから離座して、噴孔11bから燃料が噴射される。

【0042】

一方、アクチュエータ13への通電をオフして制御弁14を図1の上方へ作動させると、背圧室11cは高压通路11aと連通して背圧室11c内の燃料圧力は上昇する。その結果、弁体12へ付与される背圧力が上昇して弁体12はリフトダウン（閉弁作動）する。これにより、弁体12のシート面12aがボデー11のシート面11eに着座して、噴孔11bからの燃料噴射が停止される。

【0043】

したがって、ECU30がアクチュエータ13への通電を制御することで、弁体12の開閉作動が制御される。これにより、コモンレール42から高压通路11aへ供給された高压燃料は、弁体12の開閉作動に応じて噴孔11bから噴射される。

【0044】

燃圧センサ20は、全ての燃料噴射弁10に搭載されており、以下に説明するステム21（起歪体）及び圧力センサ素子22等を備えて構成されている。ステム21はボデー11に取り付けられており、ステム21に形成されたダイヤフラム部21aが高压通路11aを流通する高压燃料の圧力を受けて弾性変形する。圧力センサ素子22はダイヤフラム部21aに取り付けられており、ダイヤフラム部21aで生じた弾性変形量に応じて圧力検出信号をECU30へ出力する。

【0045】

ECU30は、アクセルペダルの操作量やエンジン負荷、エンジン回転速度NE等に基づき目標噴射状態（例えば噴射段数、噴射開始時期、噴射終了時期、噴射量等）を算出する。例えば、エンジン負荷及びエンジン回転速度に対応する最適噴射状態を噴射状態マップにして記憶させておく。そして、現状のエンジン負荷及びエンジン回転速度に基づき、噴射状態マップを参照して目標噴射状態を算出する。そして、算出した目標噴射状態に対応する噴射指令信号 $t_1$ 、 $t_2$ 、 $Tq$ （図2（a）参照）を、後に詳述する噴射率パラメータ $t_d$ 、 $t_e$ 、 $R$ 、 $R$ 、 $R_{max}$ に基づき設定し、燃料噴射弁10へ出力すること

10

20

30

40

50

で燃料噴射弁 10 の作動を制御する。

【0046】

次に、燃料噴射弁 10 から燃料を噴射させる場合における噴射制御の手法について、図 2 ~ 図 5 を用いて以下に説明する。

【0047】

燃圧センサ 20 の検出値に基づき、噴射に伴い生じた燃料圧力の変化を圧力波形（図 2（c）参照）として検出し、検出した圧力波形に基づき燃料の時間に対する噴射率の変化を表した噴射率波形（図 2（b）参照）を演算して噴射状態を検出する。そして、検出した噴射率波形（噴射状態）を特定する噴射率パラメータ  $R_{min}$ 、 $R_{max}$  を学習するとともに、噴射指令信号（パルスオン時期  $t_1$  及びパルスオン期間  $T_q$ ）と噴射状態との相関関係を特定する噴射率パラメータ  $t_d$ 、 $t_e$  を学習する。

10

【0048】

具体的には、圧力波形のうち、噴射開始に伴い燃圧降下を開始する変曲点  $P_1$  から降下が終了する変曲点  $P_2$  までの降下波形を、最小二乗法等により直線に近似した降下近似直線  $L$  を算出する。そして、降下近似直線  $L$  のうち基準値  $B$  となる時期（ $L$  と  $B$  の交点時期  $L_B$ ）を算出する。この交点時期  $L_B$  と噴射開始時期  $R_1$  とは相関が高いことに着目し、交点時期  $L_B$  に基づき噴射開始時期  $R_1$  を算出する。例えば、交点時期  $L_B$  よりも所定の遅れ時間  $C$  だけ前の時期を噴射開始時期  $R_1$  として算出すればよい。

【0049】

20

また、圧力波形のうち、噴射終了に伴い燃圧上昇を開始する変曲点  $P_3$  から降下が終了する変曲点  $P_5$  までの上昇波形を、最小二乗法等により直線に近似した上昇近似直線  $L$  を算出する。そして、上昇近似直線  $L$  のうち基準値  $B$  となる時期（ $L$  と  $B$  の交点時期  $L_B$ ）を算出する。この交点時期  $L_B$  と噴射終了時期  $R_4$  とは相関が高いことに着目し、交点時期  $L_B$  に基づき噴射終了時期  $R_4$  を算出する。例えば、交点時期  $L_B$  よりも所定の遅れ時間  $C$  だけ前の時期を噴射終了時期  $R_4$  として算出すればよい。

【0050】

次に、降下近似直線  $L$  の傾きと噴射率増加の傾きとは相関が高いことに着目し、図 2（b）に示す噴射率波形のうち噴射増加を示す直線  $R$  の傾きを、降下近似直線  $L$  の傾きに基づき算出する。例えば、 $L$  の傾きに所定の係数を掛けて  $R$  の傾きを算出すればよい。同様にして、上昇近似直線  $L$  の傾きと噴射率減少の傾きとは相関が高いので、噴射率波形のうち噴射減少を示す直線  $R$  の傾きを、上昇近似直線  $L$  の傾きに基づき算出する。

30

【0051】

次に、噴射率波形の直線  $R_{inc}$ 、 $R_{dec}$  に基づき、噴射終了を指令したことに伴い弁体 12 がリフトダウンを開始する時期（閉弁作動開始時期  $R_{23}$ ）を算出する。具体的には、両直線  $R_{inc}$ 、 $R_{dec}$  の交点を算出し、その交点時期を閉弁作動開始時期  $R_{23}$  として算出する。また、噴射開始時期  $R_1$  の噴射開始指令時期  $t_1$  に対する遅れ時間（噴射開始遅れ時間  $t_d$ ）を算出する。また、閉弁作動開始時期  $R_{23}$  の噴射終了指令時期  $t_2$  に対する遅れ時間（噴射終了遅れ時間  $t_e$ ）を算出する。

40

【0052】

また、降下近似直線  $L_{down}$  及び上昇近似直線  $L_{up}$  の交点に対応した圧力を交点圧力  $P_{int}$  として算出し、後に詳述する基準圧力  $P_{base}$  と交点圧力  $P_{int}$  との圧力差  $\Delta P$  を算出し、この圧力差  $\Delta P$  と最大噴射率  $R_{max}$  とは相関が高いことに着目し、圧力差  $\Delta P$  に基づき最大噴射率  $R_{max}$  を算出する。具体的には、圧力差  $\Delta P$  に相関係数  $C$  を掛けることで最大噴射率  $R_{max}$  を算出する。但し、圧力差  $\Delta P$  が所定値  $P_{th}$  未満である小噴射の場合には上述の如く  $R_{max} = \Delta P \times C$  とする一方で、 $\Delta P \geq P_{th}$  である大噴射の場合には予め設定しておいた値（設定値  $R_{set}$ ）を最大噴射率  $R_{max}$  として算出する。

【0053】

50

なお、上記「小噴射」とは、噴射率が $R$ に達する前に弁体12がリフトダウンを開始する態様の噴射を想定しており、シート面11e, 12aで燃料が絞られて噴射量が制限されている時の噴射率が最大噴射率 $R_{max}$ となる。一方、上記「大噴射」とは、噴射率が $R$ に達した後弁体12がリフトダウンを開始する態様の噴射を想定しており、噴孔11bで燃料が絞られて噴射量が制限されている時の噴射率が最大噴射率 $R_{max}$ となる。要するに、噴射指令期間 $T_q$ が十分に長く、最大噴射率に達した以降も開弁状態を継続させる場合においては、噴射率波形は台形となる(図2(b)の実線参照)。一方、最大噴射率に達する前に閉弁作動を開始させるような小噴射の場合には、噴射率波形は三角形となる(図2(b)の点線参照)。

#### 【0054】

大噴射時の最大噴射率 $R_{max}$ である上記設定値 $R$ は、燃料噴射弁10の経年変化に伴い変化していく。例えば、噴孔11bにデポジット等の異物が堆積して噴射量が減少するといった経年劣化が進行すると、図2(c)に示す圧力降下量 $P$ は小さくなっていく。また、シート面11e, 12aが磨耗して噴射量が増大するといった経年劣化が進行すると、圧力降下量 $P$ は大きくなっていく。なお、圧力降下量 $P$ とは、噴射率上昇に伴い生じた検出圧力の降下量のことであり、例えば、基準圧力 $P_{base}$ から変曲点 $P_2$ までの圧力降下量、又は、変曲点 $P_1$ から変曲点 $P_2$ までの圧力降下量のことである。

#### 【0055】

そこで本実施形態では、大噴射時の最大噴射率 $R_{max}$ (設定値 $R$ )と圧力降下量 $P$ とは相関が高いことに着目し、圧力降下量 $P$ の検出結果から設定値 $R$ を算出して学習する。つまり、大噴射時における最大噴射率 $R_{max}$ の学習値は、圧力降下量 $P$ に基づく設定値 $R$ の学習値に相当する。

#### 【0056】

以上により、圧力波形から噴射率パラメータ $t_d$ ,  $t_e$ ,  $R$ ,  $R$ ,  $R_{max}$ を算出することができる。そして、これらの噴射率パラメータ $t_d$ ,  $t_e$ ,  $R$ ,  $R$ ,  $R_{max}$ の学習値に基づき、噴射指令信号(図2(a)参照)に対応した噴射率波形(図2(b)参照)を算出することができる。なお、このように算出した噴射率波形の面積(図2(b)中の網点ハッチ参照)は噴射量に相当するので、噴射率パラメータに基づき噴射量を算出することもでき、例えば、算出した噴射量と噴射指令期間 $T_q$ との割合を噴射率パラメータとして学習してもよい。

#### 【0057】

図3は、これら噴射率パラメータの学習、及び燃料噴射弁10へ出力する噴射指令信号の設定等の概要を示すブロック図であり、ECU30により機能する各手段31, 32, 33, 34, 35, 36について以下に説明する。噴射率パラメータ算出手段31は、燃圧センサ20により検出された圧力波形に基づき、先述したように噴射率パラメータ $t_d$ ,  $t_e$ ,  $R$ ,  $R$ ,  $R_{max}$ を算出する。

#### 【0058】

学習手段32は、算出した噴射率パラメータをECU30のメモリに記憶更新して学習する。なお、噴射率パラメータは、その時の供給燃圧(コモンレール42内の圧力)および噴射量に応じて異なる値となる。そのため、後述する基準圧力 $P_{base}$ (図2(c)参照)や供給燃圧等の燃圧と関連付けて、かつ、噴射率波形の面積から算出される噴射量 $Q$ や噴射指令期間 $T_q$ 等の噴射量と関連付けて、噴射率パラメータを学習させている。図3の例では、噴射量 $Q$ に対応する噴射率パラメータの値を噴射率パラメータマップ $M_1 \sim M_5$ に記憶させており、これらのマップ $M_1 \sim M_5$ は、燃圧の代表値(例えば30MPa, 50MPa, 100MPa・・・等)毎に異なるマップに設定されている。

#### 【0059】

補間手段33は、現時点での要求噴射量および燃圧に対応する噴射率パラメータを、噴射率パラメータマップ $M_1 \sim M_5$ に記憶されている噴射率パラメータの学習値を補間して算出する。この補間の手法については後に詳述する。

#### 【0060】

10

20

30

40

50

設定手段 34 は、補間手段 33 により算出した噴射率パラメータに基づき、目標噴射状態（要求噴射量および要求噴射開始時期）に対応する噴射指令信号（噴射開始指令時期  $t_1$ 、噴射指令期間  $T_q$ ）を設定する。そして、このように設定した噴射指令信号にしたがって燃料噴射弁 10 を作動させた時の圧力波形を燃圧センサ 20 で検出し、検出した圧力波形に基づき噴射率パラメータ算出手段 31 は噴射率パラメータ  $t_d$ 、 $t_e$ 、 $R$ 、 $R_{max}$  を算出する。

【0061】

要するに、噴射指令信号に対する実際の噴射状態（つまり噴射率パラメータ  $t_d$ 、 $t_e$ 、 $R$ 、 $R_{max}$ ）を検出して学習し、その学習値に基づき、目標噴射状態に対応する噴射指令信号を設定する。そのため、実際の噴射状態に基づき噴射指令信号がフィードバック制御されることとなり、先述した経年劣化が進行しても、実噴射状態が目標噴射状態に一致するよう燃料噴射状態を高精度で制御できる。

10

【0062】

特に、実噴射量が目標噴射量となるように、噴射率パラメータに基づき噴射指令期間  $T_q$  を設定するようフィードバック制御することで、実噴射量が目標噴射量となるように補償している。

【0063】

次に、検出した圧力波形（図 2（c）参照）から噴射率パラメータ  $t_d$ 、 $t_e$ 、 $R$ 、 $R_{max}$ （図 2（b）参照）を算出することで噴射状態を解析する手順について、図 4 のフローチャートを用いて説明する。なお、図 4 に示す処理は、ECU 30 が有するマイコンにより繰り返し実行される。

20

【0064】

まず、図 4 に示すステップ S10（圧力波形取得手段）において、以下に説明する噴射波形  $W_b$  を燃圧センサ 20 の検出値に基づき算出する。以下の説明では、燃料噴射中の気筒を噴射気筒、前記噴射気筒で燃料を噴射している時に噴射を停止させている気筒を裏気筒と呼ぶ。また、噴射気筒の燃料噴射弁 10 に搭載されている燃圧センサ 20 を噴射時センサ、裏気筒の燃料噴射弁 10 に搭載されている燃圧センサ 20 を非噴射時センサと呼ぶ。

【0065】

ステップ S10 ではまず、噴射時センサにより所定のサンプリング周期で検出した複数の検出値を取得し、これらの検出値に基づき、噴射に伴い生じた噴射時センサでの燃圧変化を表す噴射波形  $W_a$ （図 5（a）参照）を生成する。次に、非噴射時センサにより所定のサンプリング周期で検出した複数の検出値を取得し、これらの検出値に基づき、噴射に伴い生じた非噴射時センサでの燃圧変化を表す裏波形  $W_u$ （図 5（b）参照）を生成する。

30

【0066】

ちなみに、燃料ポンプ 41 からコモンレール 42 へ燃料を圧送するタイミングと噴射タイミングとが重複した場合には、裏波形  $W_u$  は図 5（b）の実線に示すように、全体的に圧力が高くなった波形となる。一方、このようなポンプ圧送が燃料噴射中に行われなかった場合には、燃料を噴射した直後は、その噴射分だけ噴射システム内全体の燃圧が低下する。そのため、裏波形  $W_u'$  は図 5（b）中の点線に示すように、全体的に圧力が低くなった波形となる。

40

【0067】

このような裏波形  $W_u$ 、 $W_u'$  の成分は噴射波形  $W_a$  にも含まれている。換言すれば、噴射波形  $W_a$  には、噴射による燃圧変化を表した噴射波形  $W_b$ （図 5（c）参照）と、裏波形  $W_u$ 、 $W_u'$  の成分とが含まれていると言える。そこでステップ S10 では、噴射波形  $W_a$  から裏波形  $W_u$ 、 $W_u'$  を差し引くことで、噴射波形  $W_b$  を抽出する処理を行う（ $W_b = W_a - W_u$ ）。

【0068】

次に、図 4 のステップ S11 において、以下に説明するうねり除去処理を行う。すなわ

50

ち、多段噴射を実施する場合には、前段噴射にかかる圧力波形の噴射後の脈動である前段うねり成分  $W_c$  (図 2 (c) 参照) が、噴射波形  $W_a$  に重畳する。特に、前段噴射とのインターバルが短い場合には、噴射波形  $W_a$  は前段うねり成分  $W_c$  の影響を大きく受ける。そこで上記ステップ S 1 1 では、このような前段うねり成分  $W_c$  を噴射波形  $W_b$  から差し引くうねり除去処理を実施する。

【0069】

ちなみに、図 6 (b) 中の符号  $W_c$  に示す点線は、前段うねり成分  $W_c$  が噴射波形  $W_a$  ,  $W_b$  に重畳した状態を示す。図 6 (b) では、圧変曲点 P 1 より前の基準波形の部分にのみ前段うねり成分  $W_c$  を点線で表しているが、実際の前段うねり成分  $W_c$  は、噴射波形  $W_a$  ,  $W_b$  の全体に亘って重畳している。そして、うねり除去処理を実施することにより、噴射波形  $W_b$  は点線に示す波形から実線に示す波形に加工される。

10

【0070】

また、図 6 (b) 中の一点鎖線に示すうねり成分 (以下、自うねり成分  $W_d$  と記載) は、以下に説明するメカニズムで発生していると考察する。すなわち、燃料噴射開始に伴い噴孔 1 1 b 近傍で生じた燃料の圧力変化が、脈動となって燃料供給経路の上流側へ伝播していき、前記経路内のいずれかの部位でその脈動が反射して伝播する。そのため、このような脈動は燃圧センサ 2 0 へ周期的に伝播されてくることとなり、その脈動を燃圧センサ 2 0 が検出することに起因して、上述した自うねり成分  $W_d$  が噴射波形  $W_a$  ,  $W_b$  に重畳する。

【0071】

20

これらの前段うねり成分  $W_c$  および自うねり成分  $W_d$  は「圧力うねり成分」に相当する。そして、前段うねり成分  $W_c$  については前段の噴射状態から容易に推測できるので、ステップ S 1 1 によるうねり除去処理を容易に実現できる。これに対し自うねり成分  $W_d$  は、噴射率上昇に伴い生じる自噴射の圧力下降により生じた脈動に起因するものであるため、推定が困難であり噴射波形  $W_a$  ,  $W_b$  から差し引いて除去することも困難である。したがって、ステップ S 1 2 ~ S 2 3 による噴射状態の解析処理に用いる噴射波形  $W_b$  には、自うねり成分  $W_d$  が重畳した状態の噴射波形  $W_b$  を用いる。但し、補間手段 3 3 の補間処理により、自うねり成分  $W_d$  の影響を加味して噴射指令信号は設定される。この補間処理については後に詳述する。

【0072】

30

次に、図 4 のステップ S 1 2 において、前記うねり除去処理を施した噴射波形  $W_b$  のうち、噴射開始に伴い燃圧が降下を開始するまでの期間に対応する部分の波形である基準波形に基づき、その基準波形の平均燃圧を基準圧力  $P_{base}$  として算出する。例えば、噴射開始指令時期  $t_1$  から所定時間が経過するまでの期間  $T_A$  に対応する部分を、基準波形として設定すればよい。或いは、降下波形の微分値に基づき変曲点 P 1 を算出し、噴射開始指令時期  $t_1$  から変曲点 P 1 より所定時間前までの期間に相当する部分を基準波形として設定すればよい。

【0073】

続くステップ S 1 3 では、噴射波形  $W_b$  のうち、噴射率増大に伴い燃圧が降下していく期間に対応する部分の波形である降下波形に基づき、その降下波形の近似直線  $L$  を算出する。例えば、噴射開始指令時期  $t_1$  から所定時間が経過した時点からの所定期間  $T_B$  に対応する部分を、降下波形として設定すればよい。或いは、降下波形の微分値に基づき変曲点 P 1 , P 2 を算出し、これら変曲点 P 1 , P 2 の間に相当する部分を降下波形として設定すればよい。そして、降下波形を構成する複数の燃圧検出値 (サンプリング値) から、最小二乗法により近似直線  $L$  を算出すればよい。或いは、降下波形のうち微分値が最小となる時点における接線を、近似直線  $L$  として算出すればよい。

40

【0074】

続くステップ S 1 4 では、噴射波形  $W_b$  のうち、噴射率減少に伴い燃圧が上昇していく期間に対応する部分の波形である上昇波形に基づき、その上昇波形の近似直線  $L$  を算出する。例えば、噴射終了指令時期  $t_2$  から所定時間が経過した時点からの所定期間  $T_C$  に

50

対応する部分を、上昇波形として設定すればよい。或いは、上昇波形の微分値に基づき変曲点 P 3 , P 5 を算出し、これら変曲点 P 3 , P 5 の間に相当する部分を上昇波形として設定すればよい。そして、上昇波形を構成する複数の燃圧検出値 ( サンプリグ値 ) から、最小二乗法により近似直線 L を算出すればよい。或いは、上昇波形のうち微分値が最大となる時点における接線を、近似直線 L として算出すればよい。

【 0 0 7 5 】

続くステップ S 1 5 では、基準圧力 P base に基づき基準値 B , B を算出する。例えば、基準圧力 P base より所定量だけ低い値を基準値 B , B として算出すればよい。なお、両基準値 B , B を同じ値に設定する必要はない。また、前記所定量は基準圧力 P base の値や燃料温度等に応じて可変設定してもよい。

10

【 0 0 7 6 】

続くステップ S 1 6 では、近似直線 L のうち基準値 B となる時期 ( L と B の交点時期 L B ) を算出する。この交点時期 L B と噴射開始時期 R 1 とは相関が高いことに着目し、交点時期 L B に基づき噴射開始時期 R 1 を算出する。例えば、交点時期 L B よりも所定の遅れ時間 C だけ前の時期を噴射開始時期 R 1 として算出すればよい。

【 0 0 7 7 】

続くステップ S 1 7 では、近似直線 L のうち基準値 B となる時期 ( L と B の交点時期 L B ) を算出する。この交点時期 L B と噴射終了時期 R 4 とは相関が高いことに着目し、交点時期 L B に基づき噴射終了時期 R 4 を算出する。例えば、交点時期 L B よりも所定の遅れ時間 C だけ前の時期を噴射終了時期 R 4 として算出すればよい。なお、上記遅れ時間 C , C は、基準圧力 P base の値や燃料温度等に応じて可変設定してもよい。

20

【 0 0 7 8 】

続くステップ S 1 8 では、近似直線 L の傾きと噴射率増加の傾きとは相関が高いことに着目し、図 2 ( b ) に示す噴射率波形のうち噴射増加を示す直線 R の傾きを、近似直線 L の傾きに基づき算出する。例えば、L の傾きに所定の係数を掛けて R の傾きを算出すればよい。なお、ステップ S 1 6 で算出した噴射開始時期 R 1 と当該ステップ S 1 8 で算出した R の傾きに基づき、噴射指令信号に対する噴射率波形の上昇部分を表した直線 R を特定することができる。

【 0 0 7 9 】

さらにステップ S 1 8 では、近似直線 L の傾きと噴射率減少の傾きとは相関が高いことに着目し、噴射率波形のうち噴射減少を示す直線 R の傾きを、近似直線 L の傾きに基づき算出する。例えば、L の傾きに所定の係数を掛けて R の傾きを算出すればよい。なお、ステップ S 1 7 で算出した噴射終了時期 R 4 と当該ステップ S 1 8 で算出した R の傾きに基づき、噴射指令信号に対する噴射率波形の降下部分を表した直線 R を特定することができる。なお、上記所定の係数は、基準圧力 P base の値や燃料温度等に応じて可変設定してもよい。

30

【 0 0 8 0 】

続くステップ S 1 9 では、ステップ S 1 8 で算出した噴射率波形の直線 R , R に基づき、噴射終了を指令したことに伴い弁体 1 2 がリフトダウンを開始する時期 ( 閉弁作動開始時期 R 2 3 ) を算出する。具体的には、両直線 R , R の交点を算出し、その交点時期を閉弁作動開始時期 R 2 3 として算出する。

40

【 0 0 8 1 】

続くステップ S 2 0 では、ステップ S 1 6 で算出した噴射開始時期 R 1 の噴射開始指令時期 t 1 に対する遅れ時間 ( 噴射開始遅れ時間 t d ) を算出する。また、ステップ S 1 9 で算出した閉弁作動開始時期 R 2 3 の噴射終了指令時期 t 2 に対する遅れ時間 ( 噴射終了遅れ時間 t e ) を算出する。なお、噴射終了遅れ時間 t e とは、噴射終了を指令した時期 t 2 から、制御弁 1 4 の作動を開始する時期までの遅れ時間のことである。要するにこれらの遅れ時間 t d , t e は、噴射指令信号に対する噴射率変化の応答遅れを表すパラメータであり、他にも、噴射開始指令時期 t 1 から最大噴射率到達時期 R 2 までの遅れ時間、

50

噴射終了指令時期  $t_2$  から噴射率低下開始  $R_3$  までの遅れ時間、噴射終了指令時期  $t_2$  から噴射終了時期  $R_4$  までの遅れ時間等が挙げられる。

【0082】

続くステップ  $S_{21}$  では、基準圧力  $P_{base}$  と交点圧力  $P_{th}$  との圧力差  $P$  が所定値  $P_{th}$  未満であるか否かを判定する。  $P < P_{th}$  と判定された場合 ( $S_{21} : YES$ ) には、次のステップ  $S_{22}$  において、先述した小噴射であるとみなして、圧力差  $P$  に基づき最大噴射率  $R_{max}$  を算出する ( $R_{max} = P \times C$ )。一方、  $P \geq P_{th}$  と判定された場合 ( $S_{21} : NO$ ) には、次のステップ  $S_{23}$  において、予め設定しておいた値 (設定値  $R$ ) を最大噴射率  $R_{max}$  として算出する。

【0083】

次に、補間手段 33 による補間処理について、図 6 を用いて説明する。

【0084】

図 6 (b) は、図 6 (a) の如く台形の噴射率波形となる大噴射を実施した時の噴射波形  $W_b$  を示す。図 6 (b) 中の一点鎖線に示すように、噴射波形  $W_b$  のうち、圧力降下が停止した変曲点  $P_2$  が出現してから圧力上昇を開始する変曲点  $P_3$  が出現するまでの部分には、自うねり成分  $W_d$  が重畳している。

【0085】

また、図 6 (a) 中の実線  $L_1$  および点線  $L_2$  ,  $L_3$  は、図 6 (b) 中の実線  $LP_1$  および点線  $LP_2$  ,  $LP_3$  と対応しており、  $L_2$  ,  $L_3$  の如く  $L_1$  よりも噴射終了時期を早めると、  $LP_2$  ,  $LP_3$  の如く圧力上昇開始時期は早くなる。そして、  $LP_2$  の場合には、自うねり成分  $W_d$  のうち圧力が低くなっている箇所 (符号  $A_2$  の箇所) から圧力上昇を開始しており、  $LP_3$  の場合には、自うねり成分  $W_d$  のうち圧力が高くなっている箇所 (符号  $A_3$  の箇所) から圧力上昇を開始している。

【0086】

そして、自うねり成分  $W_d$  のうちいずれの箇所から圧力降下を開始するかに応じて、噴射率波形のうち閉弁作動に伴い噴射率が下降する部分の波形を特定するのに要する噴射率パラメータ  $R_{te}$  は異なる値となることを本発明者は見出した。つまり、噴射量  $Q$  (噴射指令期間  $T_q$ ) に応じて圧力降下開始時点  $P_3$  は決定されることとなるが、その噴射量  $Q$  と関連付けて学習される噴射率パラメータ  $R_{te}$  の学習値は、噴射量  $Q$  と比例するわけではなく。図 6 (c) (d) に示すように噴射量  $Q$  の変化に応じて周期的に変化するうねり波形 (以下、学習うねり波形  $W_g$  と呼ぶ) となる。

【0087】

そして、自うねり成分  $W_d$  の形状と学習うねり波形  $W_g$  の形状とは相関があることを本発明者は見出した。具体的には、学習うねり波形  $W_g$  と自うねり成分  $W_d$  とでは、うねりの周期、振幅、減衰率等について相関がある。そこで本実施形態では、図 3 に示す圧力うねり成分抽出手段 35 により、先ず、噴射波形  $W_b$  から自うねり成分  $W_d$  を抽出する。学習うねり波形推定手段 36 では、抽出した自うねり成分  $W_d$  に基づき学習うねり波形  $W_g$  を推定する。

【0088】

具体的には、自うねり成分  $W_d$  のうねり周期、振幅、減衰率を算出し、算出したこれらの値に所定の係数を掛けて学習うねり波形  $W_g$  の形状を決定する。そして、噴射率パラメータ  $R_{te}$  の学習値  $g_1 \sim g_3$  ,  $g_4 \sim g_6$  (図 6 (c) (d) 参照) に前記形状を一致させて得られる波形を、学習うねり波形  $W_g$  を表したモデル式として算出する。なお、このモデル式は、その時の基準圧力  $P_{base}$  (燃料供給圧力) 毎に区別して算出する。ちなみに、前記モデル式に替えて図 6 (c) (d) に示す波形をマップに記憶させてもよく、この場合、当該マップは基準圧力  $P_{base}$  毎に作成されることとなる。

【0089】

図 6 に示すように、  $LP_2$  の如く圧力が低くなっている箇所  $A_2$  から圧力上昇を開始する場合には、噴射率パラメータ  $R_{te}$  (噴射率降下速度) は速くなり、かつ、噴射率パラメータ  $t_e$  (噴射終了遅れ時間) は短くなる。逆に、  $LP_3$  の如く圧力が高くなっている箇所

10

20

30

40

50

所 A 3 から圧力上昇を開始する場合には、噴射率降下速度  $R$  は遅くなり、かつ、噴射終了遅れ時間  $t_e$  は長くなる。

【0090】

この理由について以下に説明する。弁体 12 をリフトダウンさせて閉弁させる場合には、アクチュエータ 13 への通電をオフさせて、背圧室 11c の圧力を上昇させるように制御弁 14 を作動させる。すると、燃料溜まり部 11f の燃圧が弁体 12 を開弁方向へ押し上げる力  $f_1$  よりも、スプリング 11g の弾性力  $f_2$  および背圧室 11c の燃圧により弁体 12 を閉弁方向へ押し下げる力  $f_3$  の方が大きくなる。その結果、弁体 12 が閉弁方向へリフトダウンを開始することとなる。つまり、前記  $f_3$  が上昇して  $f_2 + f_3 > f_1$  となった時点でリフトダウンが開始される。したがって、アクチュエータ 13 への通電をオフさせた時点  $t_2$  での燃料溜まり部 11f の燃圧が高いほど、通電オフ時点  $t_2$  から  $f_2 + f_3 > f_1$  になるまでの時間（閉弁遅れ時間  $t_e$ ）は長くなる。

10

【0091】

また、 $f_2 + f_3$  の値が  $f_1$  の値より大きいほど、弁体 12 のリフトダウン速度は速くなり、ひいては噴射率降下速度  $R$  が速くなる。したがって、通電オフ時点  $t_2$  での燃料溜まり部 11f の燃圧が低いほど、 $f_2 + f_3$  の値が  $f_1$  の値より大きくなるので、噴射率降下速度  $R$  が速くなる。以上により、噴射量  $Q$ （噴射指令期間  $T_q$ ）の違いに応じて、自うねり成分  $W_d$  のいずれの箇所から圧力降下が始まるかが変化し、その結果、自うねり成分  $W_d$  の変化に応じて閉弁遅れ時間  $t_e$  および噴射指令期間  $T_q$  が学習うねり波形  $W_g$  の如く変化することとなる。

20

【0092】

以上により、噴射率パラメータ  $R$ 、 $t_e$  は噴射量  $Q$  に対して周期的に上昇と下降を繰り返す学習うねり波形  $W_g$  の形状となり、その学習うねり波形  $W_g$  の形状は自うねり成分  $W_d$  の形状と相関が有る。この点を鑑み、設定手段 34 では次のように噴射指令信号を設定する。

【0093】

図 7 は、噴射指令信号を設定する手順を示すフローチャートであり、当該処理は ECU 30 が有するマイコンにより繰り返し実行される。

【0094】

先ず、図 7 に示すステップ S 30 において、目標噴射状態（要求噴射量  $Q$  および要求噴射開始時期  $t_1$ ）、およびコモンレール 42 内の燃圧  $P$ （供給圧）を取得する。前記供給圧には、例えば前回噴射時の基準圧力  $P_{base}$  を採用すればよい。但し、ポンプ圧送のタイミングを加味して基準圧力  $P_{base}$  を補正することが望ましい。

30

【0095】

続くステップ S 31 では、 $t_d$ 、 $R$ 、 $R_{max}$  にかかる噴射率パラメータマップ  $M_1 \sim M_3$  中の学習値を線形補間して、ステップ S 30 で取得した要求噴射量  $Q$  に対応する噴射率パラメータ  $t_d$ 、 $R$ 、 $R_{max}$  を算出する。なお、当該算出に用いるマップ  $M_1 \sim M_3$  には、ステップ S 30 で取得した燃圧  $P$  に対応するマップを採用する。

【0096】

続くステップ S 32（補間手段）では、 $t_e$ 、 $R$  にかかる噴射率パラメータマップ  $M_4$ 、 $M_5$  中の学習値  $g_1 \sim g_3$ 、 $g_4 \sim g_6$  を、学習うねり波形  $W_g$  を表したモデル式に基づき補間して、要求噴射量  $Q$  に対応する噴射率パラメータ  $t_d$ 、 $R$ 、 $R_{max}$  を算出する。なお、当該算出に用いるマップ  $M_4$ 、 $M_5$  には、ステップ S 30 で取得した燃圧  $P$  に対応するマップを採用する。また、当該算出に用いる学習うねり波形  $W_g$  のモデル式には、ステップ S 30 で取得した燃圧  $P$  に対応するモデル式を採用する。

40

【0097】

続くステップ S 33（噴射率パラメータ算出手段）では、ステップ S 31 で算出した噴射開始遅れ時間  $t_d$  に基づき、噴射開始指令時期  $t_1$ （噴射指令信号）を設定する。例えば、要求噴射開始時期  $t_1$  よりも噴射開始遅れ時間  $t_d$  だけ早い時期を噴射開始指令時期  $t_1$  とすればよい。続くステップ S 34（噴射率パラメータ算出手段）では、ステップ S

50

3 1での補間により算出した $R$  ,  $R_{max}$ およびステップS 3 2での補間により算出した $R$  ,  $t_e$ に基づき、噴射率波形面積が要求噴射量 $Q$ と一致するように噴射指令期間 $T_q$ を設定する。

【0098】

ここで、上述したステップS 3 2の補間手法に反して、学習値 $g_1 \sim g_3$  ,  $g_4 \sim g_6$ を線形補間して噴射率パラメータ $R$  ,  $t_e$ を算出すると、その算出値は、図6(c)(d)中の一点鎖線上の値になり、実際の値(学習うねり波形 $W_g$ 上の値)からずれてしまう。これに対し、学習うねり波形 $W_g$ に基づき補間するステップS 3 2の補間手法によれば、噴射率パラメータ $R$  ,  $t_e$ を実際の値(学習うねり波形 $W_g$ 上の値)に近い値に高精度で算出できる。したがって、高精度の噴射率パラメータ $R$  ,  $t_e$ に基づき噴射指令値を設定できるので、実際の噴射状態が目標噴射状態となるよう高精度で噴射制御できる。

10

【0099】

また、学習うねり波形 $W_g$ を表したモデル式を燃圧 $P$ (例えば基準圧力 $P_{base}$ )毎に算出し、現時点での燃圧 $P$ に応じたモデル式を用いて $t_e$  ,  $R$ の補間を行うので、噴射率パラメータ $R$  ,  $t_e$ の補間算出精度を向上できる。

【0100】

(第2実施形態)

図3の学習うねり波形推定手段3 6による推定手法に関し、上記第1実施形態では、自うねり成分 $W_d$ のうねり周期、振幅、減衰率を算出し、算出したこれらの値に所定の係数を掛けて学習うねり波形 $W_g$ の形状を決定している。これに対し本実施形態では、図2(c)に示す圧力波形の圧力積算値(圧力変化の履歴)に基づき、先述の如く決定した学習うねり波形 $W_g$ を補正する補正量 $g_a$  ,  $g_b$ (図8(d)参照)を設定している。以下、この補正量 $g_a$  ,  $g_b$ の算出手法について、図8を用いて説明する。

20

【0101】

図8(a)は、弁体1 2のリフトアップ量の時間変化を示しており、弁体1 2のシート面1 2 aがボデー1 1のシート面1 1 eに着座している状態をリフトアップ量ゼロと定義している。また、図8(b)(c)(d)の各々は、図6(a)(b)(c)と同様にして噴射率、圧力、噴射率の下降速度 $R$ (学習パラメータ)の変化を示す。

【0102】

リフトアップを開始した $L_1$ 時点で噴射率が上昇を開始し、リフトアップ量がゼロになった $L_4$ 時点で噴射率がゼロになっている。なお、噴射率が最大となった $R_2$ 時点以降もリフトアップ量は上昇していき、リフトダウンを開始した $L_{23}$ 時点以降も $R_3$ 時点までは最大噴射率が維持されている。

30

【0103】

ここで、弁体1 2の閉弁作動開始時期 $L_{23}$ が同じ(圧力上昇開始時期 $A_2$  ,  $A_3$ が同じ)となるように噴射させていても、その閉弁作動開始時期 $L_{23}$ の直前のリフトアップ速度 $L$ (図8(a)参照)が速いほど、弁体1 2のリフトアップ慣性力(開弁慣性力)の影響を受けて噴射率の下降速度 $R$ は遅くなる。そして、 $L_{23}$ 直前のリフトアップ速度 $L$ は、圧力波形のうち $L_1 \sim L_{23}$ に相当する期間である $P_1 \sim P_3$ 期間の圧力の積算値と相関があり、前記積算値が大きいほど $L_{23}$ 直前の速度 $L$ が速くなっていると言える。そこで本実施形態では、 $P_1 \sim P_3$ 期間の圧力積算値に応じて学習うねり波形 $W_g$ をオフセットさせるよう補正している。図8(d)の例では実線 $W_g$ を一点鎖線 $W_{g2}$ にオフセットさせており、そのオフセット量 $g_b$ は、前記圧力積算値が大きいほど小さくするよう設定する。

40

【0104】

なお、 $P_3 \sim P_5$ 期間の圧力積算値についてもリフトダウン速度 $L$ と相関があり、 $P_3 \sim P_5$ 期間の積算値が大きいほどリフトダウン速度 $L$ が遅くなっていると言える。そのため、 $P_3 \sim P_5$ 期間の積算値が大きいほどオフセット量 $g_b$ を小さく設定してもよい。したがって、 $P_1 \sim P_5$ 期間(又はそのうちの所定期間)について圧力積算値を算出し

50

、その積算値が大きいほどオフセット量  $g_b$  を小さく設定すればよい。

【0105】

また、前記圧力積算値が大きいほど学習うねり波形  $W_g$  の位相は遅角していく。そこで本実施形態では、 $P_1 \sim P_5$  期間（又はそのうちの所定期間）について圧力積算値を算出し、その積算値が大きいほど遅角量  $g_a$  を大きく設定する。図8(d)の例では実線  $W_g$  を点線  $W_{g1}$  に遅角させており、その遅角量  $g_a$  は、前記圧力積算値が大きいほど大きくするよう設定する。

【0106】

以上、学習パラメータが噴射率下降速度  $R$  である場合についての、学習うねり波形  $W_g$  の補正について説明してきたが、学習パラメータが噴射終了遅れ時間  $t_e$  である場合についても同様に補正すればよい。

10

【0107】

すなわち、弁体12の閉弁作動開始時期  $L_{23}$  が同じ（圧力上昇開始時期  $A_2$  ,  $A_3$  が同じ）となるように噴射させていても、その閉弁作動開始時期  $L_{23}$  に至る直前のリフトアップ速度  $L$  が速いほど、弁体12のリフトアップ慣性力（開弁慣性力）の影響により、噴射終了遅れ時間  $t_e$  は長くなる。そして、 $L_{23}$  直前のリフトアップ速度  $L$  は、圧力波形のうち  $L_1 \sim L_{23}$  に相当する期間である  $P_1 \sim P_3$  期間の圧力の積算値と相関があり、前記積算値が大きいほど  $L_{23}$  直前の速度  $L$  が速くなっていると言える。そこで本実施形態では、 $P_1 \sim P_3$  期間の圧力積算値に応じて、遅れ時間  $t_e$  に係る学習うねり波形  $W_g$  をオフセットさせるよう補正している。そのオフセット量は、前記圧力積算値が大きいほど大きくするよう設定する。また、前記積算値が大きいほど、遅れ時間  $t_e$  に係る学習うねり波形  $W_g$  を遅角させる遅角量を大きく設定する。

20

【0108】

なお、上記補正を実施するにあたり、補正後の学習うねり波形  $W_{g1}$  ,  $W_{g2}$  が、学習値  $g_1 \sim g_3$  ,  $g_4 \sim g_6$  を通る波形となるように学習うねり波形を推定してもよいし、学習値  $g_1 \sim g_3$  ,  $g_4 \sim g_6$  を通らない波形に推定してもよい。

【0109】

（他の実施形態）

本発明は上記実施形態の記載内容に限定されず、以下のように変更して実施してもよい。また、各実施形態の特徴的構成をそれぞれ任意に組み合わせるようにしてもよい。

30

【0110】

・図6に示す学習うねり波形  $W_g$  は、噴射率波形が台形となる大噴射を想定しており、噴射率波形が三角形となる小噴射の場合には、学習うねり波形  $W_g$  の振幅は極めて小さくなる。この点を鑑み、大噴射の場合には、学習値  $g_1 \sim g_3$  ,  $g_4 \sim g_6$  を学習うねり波形  $W_g$  に基づき補間して  $t_e$  ,  $R$  を算出し、小噴射の場合には、学習値  $g_1 \sim g_3$  ,  $g_4 \sim g_6$  を線形補間して  $t_e$  ,  $R$  を算出するようにしてもよい。

【0111】

・上記第1実施形態では、図4のステップ  $S_{11}$  の処理を実施して、噴射波形  $W_b$  から前段うねり成分  $W_c$  を除去しているが、この処理を実施しない場合には、噴射波形  $W_b$  のうち変曲点  $P_1$  から変曲点  $P_2$  までの降下波形についても圧力うねり成分（前段うねり成分  $W_c$ ）が重畳する。すると、噴射開始遅れ時間  $t_d$ 、噴射率上昇速度  $R$  等の噴射率上昇に関連する噴射率パラメータや、最大噴射率  $R_{max}$  についても噴射量  $Q$  の変化に伴う学習うねり波形が生じることとなる。

40

【0112】

そこで、このような場合には、 $t_d$  ,  $R$  ,  $R_{max}$  に対する学習うねり波形と前段うねり成分  $W_c$  とは相関があることを利用して、次のように補間すればよい。すなわち、図7のステップ  $S_{31}$  において  $t_d$  ,  $R$  ,  $R_{max}$  を線形補間することに替え、 $t_d$  ,  $R$  ,  $R_{max}$  に対する学習うねり波形を前段うねり成分  $W_c$  から推定しておき、その推定した学習うねり波形を用いてマップ  $M_1 \sim M_3$  中の学習値  $g_1 \sim g_3$  を補間して、要求噴射量  $Q$  に対応する  $t_d$  ,  $R$  ,  $R_{max}$  を算出すればよい。

50

【0113】

・上記第2実施形態では、圧力積算値に応じて学習うねり波形Wgを補正しており、言わば、学習うねり波形推定手段36による推定を圧力積算値に基づき補正していると言える。これに対し、前記補正を廃止して、補間手段33による補間を圧力積算値に基づき補正するようにしてもよい。すなわち、先述した通りに補間手段33にて算出された噴射率パラメータの学習値を、圧力積算値に基づき補正するようにしてもよい。

【0114】

・図1に示す上記第1実施形態では、燃圧センサ20を燃料噴射弁10に搭載しているが、本発明にかかる燃圧センサはコモンレール42の吐出口42aから噴孔11bに至るまでの燃料供給経路内の燃圧を検出するよう配置された燃圧センサであればよい。よって、例えばコモンレール42と燃料噴射弁10とを接続する高圧配管42bに燃圧センサを搭載してもよい。つまり、コモンレール42及び燃料噴射弁10を接続する高圧配管42bと、ポデー11内の高圧通路11aとが「燃料供給経路」に相当する。

10

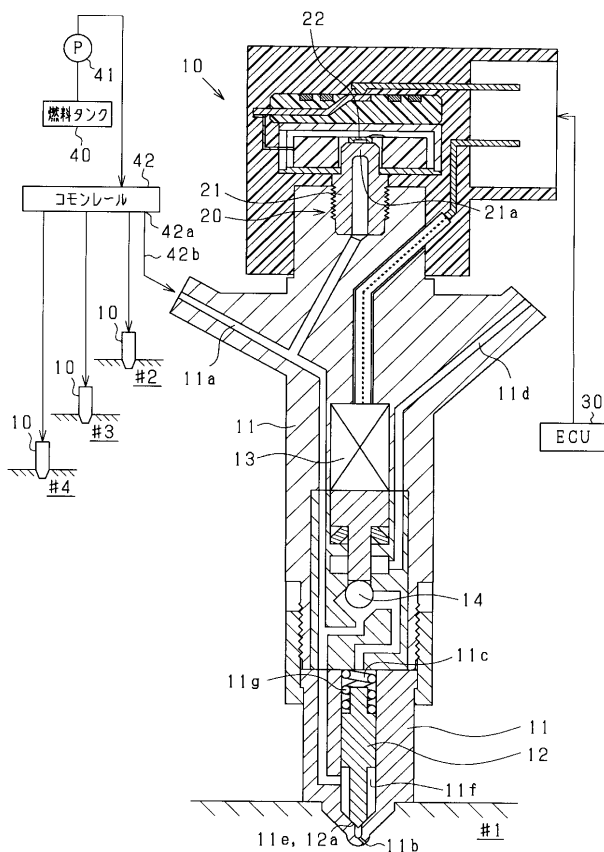
【符号の説明】

【0115】

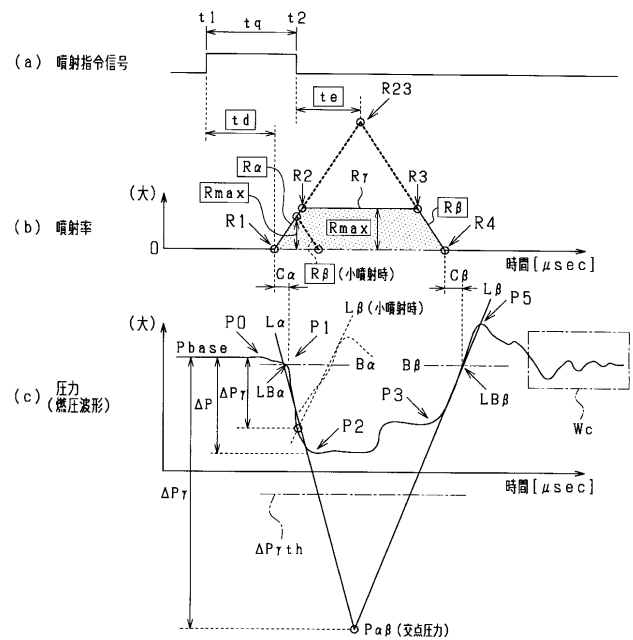
10...燃料噴射弁、20...燃圧センサ、31...噴射率パラメータ算出手段、32...パラメータ学習手段、33,S32...補間手段、36...学習うねり波形推定手段、S10...圧力波形取得手段、g1~g6...学習値、td,te,R,R,Rmax...噴射率パラメータ、Wb...噴射波形(圧力波形)、Wc...前段うねり成分(圧力うねり成分)、Wd...自うねり成分(圧力うねり成分)、Wg...学習うねり波形。

20

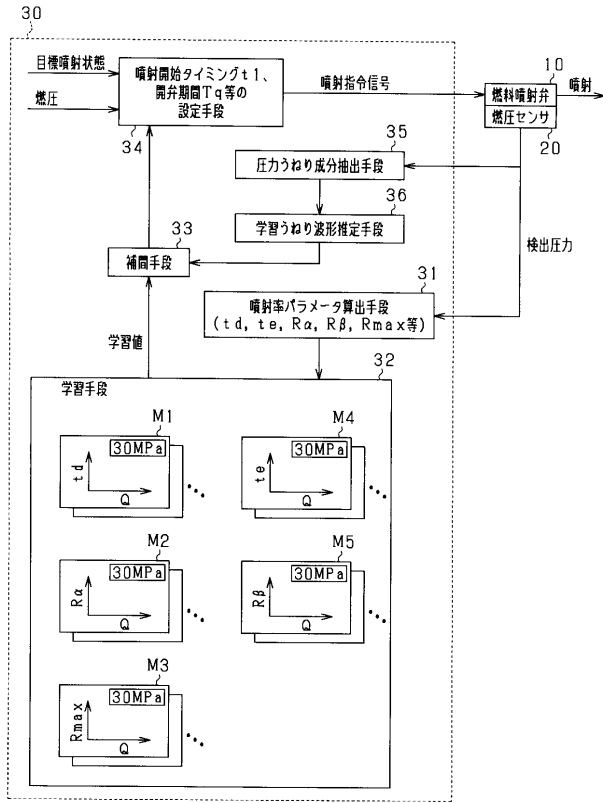
【図1】



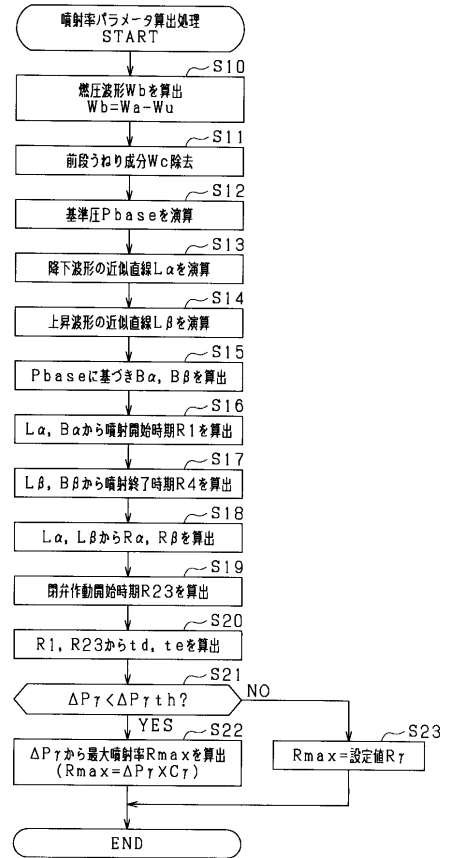
【図2】



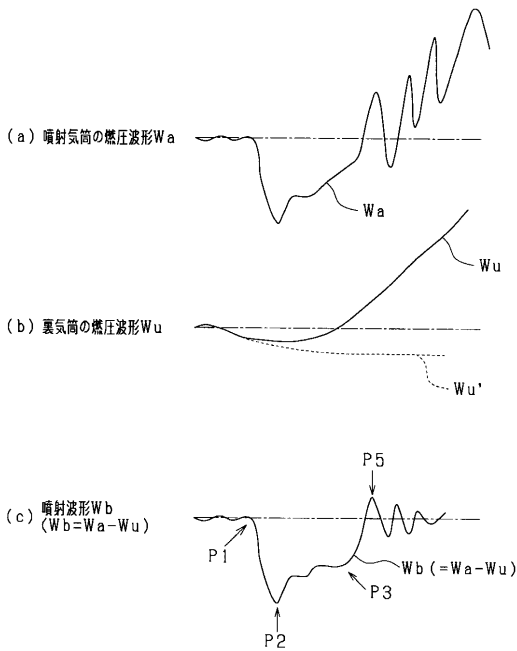
【 図 3 】



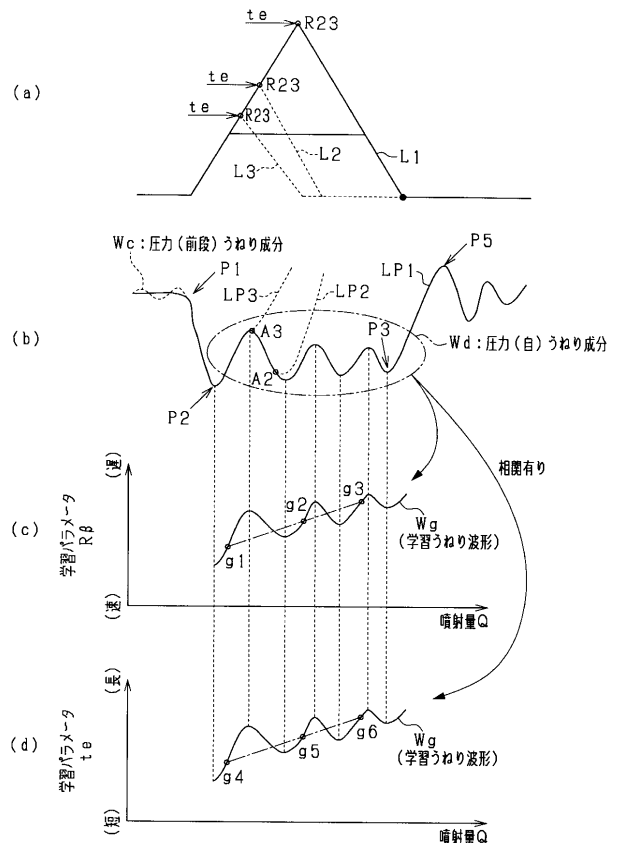
【 図 4 】



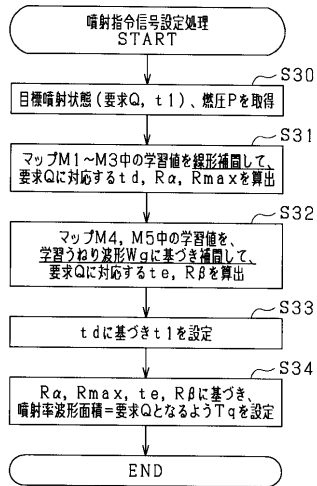
【 図 5 】



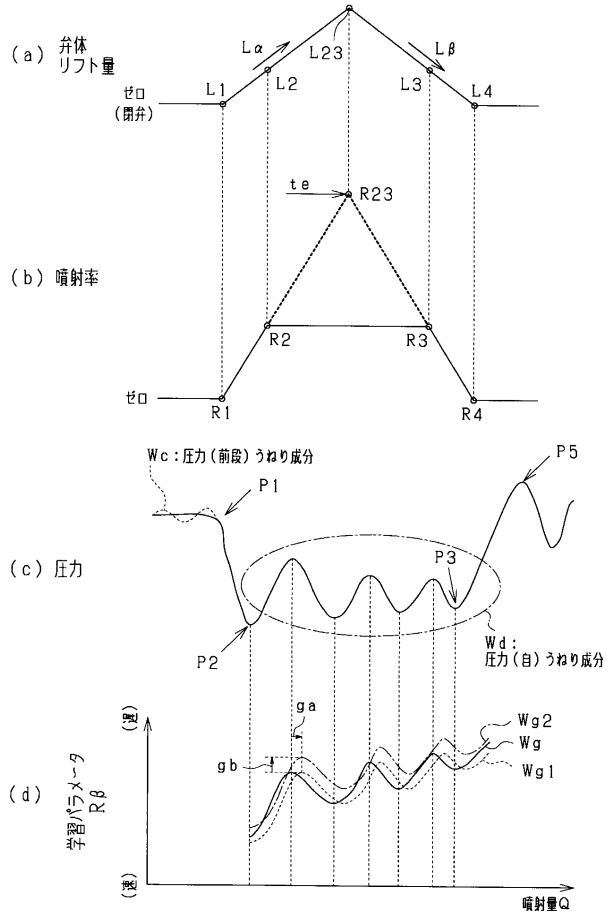
【 図 6 】



【 図 7 】



【 図 8 】



---

フロントページの続き

(72)発明者 阪田 正和

愛知県刈谷市昭和町1丁目1番地 株式会社デンソー内

Fターム(参考) 3G301 HA02 JA03 LB11 MA11 MA27 MA28 NC06 ND25 PA17Z PB08Z

PE01Z PF03Z

3G384 AA03 BA16 DA07 EA14 EE38 FA06Z FA15Z FA26Z FA56Z