



# [12] 发明专利申请公开说明书

[21] 申请号 03821396.6

[43] 公开日 2005 年 10 月 12 日

[11] 公开号 CN 1682025A

[22] 申请日 2003.9.8 [21] 申请号 03821396.6

[30] 优先权

[32] 2002.9.9 [33] JP [31] 263173/2002

[32] 2002.9.9 [33] JP [31] 263182/2002

[32] 2002.12.26 [33] JP [31] 378018/2002

[86] 国际申请 PCT/JP2003/011452 2003.9.8

[87] 国际公布 WO2004/022959 日 2004.3.18

[85] 进入国家阶段日期 2005.3.9

[71] 申请人 丰田自动车株式会社

地址 日本爱知县丰田市

[72] 发明人 小林畅树 佐左木静夫 青山太郎

吉崎康二 村田宏树 桥本佳宜

稻垣和久 中北清己 仲原彰治

堀田义博

[74] 专利代理机构 中原信达知识产权代理有限责任公司

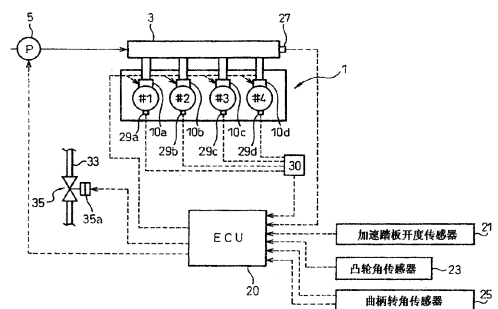
代理人 樊卫民 郭国清

权利要求书 7 页 说明书 60 页 附图 25 页

[54] 发明名称 内燃机的控制装置

[57] 摘要

本发明提供一种内燃机的控制装置。在柴油机(1)的各汽缸内设置用于检测燃料室内压力的汽缸内压力传感器(29a~29d)。内燃机的电子控制单元(ECU)(20)，从根据汽缸内压力传感器输出所算出的表示内燃机的燃烧状态的多个燃烧参数中，根据内燃机的燃料喷射阀(10a~10d)的燃料喷射模式和由EGR阀(35)所供应的EGR气体量所决定的燃烧模式，选择最佳的燃烧参数，反馈控制燃料喷射量和燃料喷射模式，使得该燃烧参数的值与根据内燃机运转状态所决定的目标值一致。由此，无论为何种燃料喷射模式和燃烧模式，都可以将内燃机燃烧状态控制在最佳状态。



1. 一种内燃机的控制装置，具有用于向内燃机燃烧室喷射燃料的燃料喷射阀，使一部分内燃机排气作为 EGR 气体回流到内燃机燃烧室中的 EGR 装置，和用于检测内燃机燃烧室内的压力的汽缸内压力传感器，其特征在于，具有：

燃烧参数计算装置，根据由所述汽缸内压力传感器所检测出的燃烧室内压力和内燃机曲柄转角所预先决定的关系，计算出至少包括汽缸内发热量、燃烧开始时间和燃烧期间中的至少一个的表示内燃机燃烧状态的燃烧参数；和

10 修正装置，对燃料喷射量、燃料喷射时间和 EGR 气体量的任意一个以上进行修正，使得所计算出的燃烧参数与根据内燃机运转状态所预先决定的目标值一致；

15 作为所述燃烧参数，从根据燃烧室内压力和内燃机曲柄转角所计算出的、表示所述内燃机燃烧状态的多种燃烧参数中，利用根据内燃机的燃料喷射模式或燃烧模式所选择的燃烧参数通过所述修正装置进行修正。

2. 如权利要求 1 所述的内燃机的控制装置，其特征在于，

20 所述燃料喷射模式包括，根据需要组合主燃料喷射和在主燃料喷射前或后，或者前后都向内燃机燃烧室喷射燃料的多点燃料喷射的燃料喷射模式。

25 3. 如权利要求 2 所述的内燃机的控制装置，其特征在于，所述喷射修正装置，首先进行向燃烧室的总燃料喷射量和主燃料喷射时间的修正，当进行多点燃料喷射时，在修正主燃料喷射的状态下，修正所述多点燃料喷射的燃料喷射量或燃料喷射时间。

30 4. 如权利要求 2 所述的内燃机的控制装置，其特征在于，还包括传感器校准装置，在预先决定的曲柄转角处，根据由所述汽缸内压

力传感器所检测出的实际的燃烧室内压力，来修正所述汽缸内压力传感器输出的误差值。

5 5. 如权利要求 2~4 中任意一项所述的内燃机的控制装置，其特征在于，根据内燃机转速和加速踏板开度来规定所述内燃机运转状态。

10 6. 如权利要求 5 所述的内燃机的控制装置，其特征在于，所述选择的燃烧参数为，开始燃烧后的燃烧室内压力的最大值和燃烧室内压力达到最大时的曲柄转角。

7. 如权利要求 5 所述的内燃机的控制装置，其特征在于，所述选择的燃烧参数为，燃烧室内压力的变化率极大时的曲柄转角。

15 8. 如权利要求 5 所述的内燃机的控制装置，其特征在于，所述选择的燃烧参数为，燃烧室内压力的 2 阶微分值极大时的曲柄转角。

20 9. 如权利要求 5 所述的内燃机的控制装置，其特征在于，所述选择的燃烧参数为，燃烧室内压力与燃烧室内实际容积的乘积的最大值，和燃烧室内压力与燃烧室内实际容积的乘积达到最大时的曲柄转角。

25 10. 如权利要求 5 所述的内燃机的控制装置，其特征在于，所述选择的燃烧参数为，燃烧室内压力与燃烧室内实际容积的乘积的最大值，和在燃烧室内压力与燃烧室内实际容积的乘积达到最大的曲柄转角处，假定未发生燃烧时的仅由压缩产生的燃烧室内压力和燃烧室内实际容积的乘积的差值 $\Delta PV_{max}$ 。

30 11. 如权利要求 5 所述的内燃机的控制装置，其特征在于，所述选择的燃烧参数为，汽缸内放热率达到最大时的曲柄转角。

12. 如权利要求 5 所述的内燃机的控制装置，其特征在于，所述选择的燃烧参数为，汽缸内总发热量。

5           13. 如权利要求 5 所述的内燃机的控制装置，其特征在于，所述选择的燃烧参数为，开始燃烧后的汽缸内压力的最大值，与从到达压缩上止点后到开始在燃烧室内燃烧之间的汽缸内最小压力的差值。

10           14. 如权利要求 5 所述的内燃机的控制装置，其特征在于，所述选择的燃烧参数为，开始燃烧后的汽缸内压力的最大值，与在所述汽缸内压力达到最大时的曲柄转角处，假定未发生燃烧时的仅由压缩产生的燃烧室内压力的差值。

15           15. 如权利要求 5 所述的内燃机的控制装置，其特征在于，所述多点燃料喷射，包括在主燃料喷射之前所进行的引导燃料喷射，所述  
20           16. 如权利要求 5 所述的内燃机的控制装置，其中，所述多点燃料喷射包括在主燃料喷射之后所进行的残喷射，所述修正装置，作为  
25           17. 如权利要求 5 所述的内燃机的控制装置，其中，所述修正装置，作为燃烧参数，利用燃烧室内压力和燃烧室内实际容积的乘积的最大值与  
30           18. 如权利要求 5 所述的内燃机的控制装置，其中，所述修正装置，作为燃烧参数，利用燃烧室内压力和燃烧室内实际容积的乘积达到最大时的曲柄转角  
              处，假定未发生燃烧时的仅由压缩所产生的燃烧室内压力和燃烧室内实际容积的乘积的差值 $\Delta PV_{max}$ ，与当由残喷射所喷射的燃料着火时的  
              燃烧室内压力和燃烧室内实际容积的乘积与在由残喷射所喷射的燃料着火时的曲柄转角处，假定未发生燃烧时的仅由压缩所产生的燃烧  
              室内压力和燃烧室内实际容积的乘积的差值 $\Delta PV_{after}$  的差值（ $\Delta$

$PV_{\max} - \Delta PV_{\text{after}}$ ), 补正残喷射指令值。

5 17. 如权利要求 6 所述的内燃机的控制装置, 其中, 所述补正装置仅对主燃料喷射进行作为所述燃烧参数利用开始燃烧后的燃烧室内压力的最大值和燃烧室内压力达到最大时的曲柄转角的所述补正。

10 18. 如权利要求 5 所述的内燃机的控制装置, 其中, 还包括对内燃机吸入空气量进行节流的节气门阀, 所述喷射补正装置, 在补正主燃料喷射量之后, 作为燃烧参数利用压缩上止点上的由压缩产生的燃烧室内压力与从到达压缩上止点后到开始在燃烧室内燃烧之间的汽缸内最小压力的差值和开始燃烧后的燃烧室内压力最大值两个参数, 补正所述节气门阀开度和主燃料喷射时间, 使得这两个燃烧参数的值与各自的目标值一致。

15 19. 如权利要求 18 所述的内燃机的控制装置, 其中, 所述内燃机可以切换运转在压缩冲程后期进行燃料喷射而进行空气过剩率大的燃烧的通常燃烧模式, 和与通常燃烧模式相比燃料喷射时间角度提前, 并且 EGR 气体量增大的低温燃烧模式; 所述喷射补正装置, 当处于所述通常燃烧模式和低温燃烧模式之间的模式切换时, 补正所述节气门阀开度和主燃料喷射时间, 使得所述两个燃烧参数的值与各自的目标值一致。

20 20. 如权利要求 1 所述的内燃机的控制装置, 其中, 所述内燃机的燃烧模式包括向燃烧室的 EGR 气体供应量不同的模式。

25 21. 如权利要求 20 所述的内燃机的控制装置, 其中, 所述选择的燃烧参数为, 根据由所述汽缸内压力传感器所检测出的燃烧室内压力  $P$  和由曲柄转角  $\theta$  所决定的燃烧室容积  $V$  的乘积  $PV$  的值所计算出的、从燃料喷射阀开始喷射燃料后到所述  $PV$  的值取最大值  $PV_{\max}$  的时间  $\Delta t$ ; 所述补正装置调节所述 EGR 气体量, 使得所述  $\Delta t$  达到预先

30

决定的目标值。

22. 如权利要求 21 所述的内燃机的控制装置，其中，所述燃烧  
参数计算装置，还计算出假定在燃烧室内未发生燃烧时的仅由活塞的  
5 压缩所产生的燃烧室内压力和由曲柄转角所决定的燃烧室容积的乘积  
PVbase，利用所述 PV 达到最大值 PVmax 时的曲柄转角 $\theta_{pvmax}$  处的  
PVbase 的值，计算出 PVmax 和 PVbase 的差值 $\Delta PVmax$ ，所述补正装  
置还控制来自所述燃料喷射阀的燃料喷射量和燃料喷射时间，使得 $\Delta$   
PVmax 和所述 $\theta_{pvmax}$  的值分别达到预先决定的目标值。

10

23. 如权利要求 21 或 22 所述的内燃机的控制装置，其中，根据  
内燃机转速和加速踏板开度决定所述目标值。

24. 如权利要求 23 所述的内燃机的控制装置，其中，所述内燃  
15 机为压燃式内燃机。

25. 如权利要求 24 所述的内燃机的控制装置，其中，所述内燃  
机可以切换运转在压缩冲程后期进行燃料喷射而进行空气过剩率大的  
燃烧的通常燃烧模式，和与通常燃烧模式相比使燃料喷射时间角度提  
20 前，并且增大 EGR 气体量的低温燃烧模式这两个燃烧模式，并且当  
内燃机在所述低温燃烧模式运转时，进行基于所述 $\Delta t$  的 EGR 气体量  
控制。

26. 如权利要求 25 所述的内燃机的控制装置，其中，所述补正  
25 装置，当由所述通常燃烧模式向低温燃烧模式切换时，在规定的过渡  
时间内使燃料喷射时间由通常燃烧模式中的喷射时间连续变化为低温  
燃烧模式中的目标燃料喷射时间，并且在该过渡期间内，根据代替实  
际的燃料喷射时间而利用切换后的低温燃烧模式中的目标燃料喷射时  
间所计算出的 $\Delta t$ ，进行所述 EGR 气体量控制。

30

27. 如权利要求 20 所述的内燃机的控制装置, 其中, 所述选择的燃烧参数为, 根据由通过所述汽缸内压力传感器所检测出的燃烧室内压力  $P$ 、由曲柄转角 $\theta$ 所决定的燃烧室容积  $V$  和燃烧气体的比热比  $k$  所计算出的  $PV^k$  的值所决定的、从由燃料喷射阀开始喷射燃料后到所述  $PV^k$  的值取最小值  $PV^{k\min}$  的时间 $\Delta t_d$ ; 所述修正装置修正所述 EGR 气体量, 使得所述 $\Delta t_d$  达到预先决定的目标值。

28. 如权利要求 20 所述的内燃机的控制装置, 其中, 所述选择的燃烧参数为, 根据由通过所述汽缸内压力传感器所检测出的燃烧室内压力  $P$ 、由曲柄转角 $\theta$ 所决定的燃烧室容积  $V$  和燃烧气体的比热比  $k$  所计算出的  $PV^k$  的值所决定的、由燃料喷射阀开始喷射燃料后从所述  $PV^k$  的值取最小值  $PV^{k\min}$  到取最大值  $PV^{k\max}$  的时间 $\Delta t_c$ ; 所述修正装置调节所述 EGR 气体量, 使得所述 $\Delta t_c$  达到预先决定的目标值。

29. 如权利要求 27 或 28 所述的内燃机的控制装置, 其中, 所述燃料喷射阀在主燃料喷射之前进行向燃烧室内喷射少量燃料的预喷射; 所述燃烧参数计算装置, 在主燃料喷射开始后开始检测所述  $PV^{k\min}$  的值。

30. 如权利要求 1 所述的内燃机的控制装置, 其中, 所述选择的燃烧参数为, 利用由所述汽缸内压力传感器所检测出的燃烧室内压力  $P$ 、由曲柄转角 $\theta$ 所决定的燃烧室容积  $V$  和预先决定的常数 $\gamma$ , 作为  $V$  的 $\gamma$ 次方与  $P$  的乘积所计算出的参数  $PV^\gamma$ 相对于曲柄转角 $\theta$ 的变化率  $d(PV^\gamma)/d\theta$ ; 所述修正装置, 根据所述变化率检测出包括燃烧室内的燃烧开始时间和终止时间的燃烧期间, 并且修正来自所述燃料喷射阀的燃料喷射时间和燃料喷射压力中的至少一个, 使得所述燃烧期间与预先决定的期间一致。

31. 如权利要求 30 所述的内燃机的控制装置, 其中, 所述修正装置, 根据作为所述燃烧开始时间和所述燃烧终止时间上的所述燃烧

室内压力  $P$  和所述燃烧室容积  $V$  的乘积所计算出的参数  $PV$  的值，计算出所述燃烧期间内的汽缸内发热量，并补正来自所述燃料喷射阀的燃料喷射量，使得所计算出的汽缸内发热量达到预先决定的值。

- 5            32. 如权利要求 31 所述的内燃机的控制装置，其中，所述内燃机，除了主燃料喷射之外，还在主燃料喷射之前或之后，或者前后都进行向内燃机燃烧室喷射燃料的多点燃料喷射；所述补正装置对多点燃料喷射中的至少一个的燃料喷射，进行基于所述  $d(PV^\gamma)/d\theta$  的值的燃料喷射时间或燃料喷射压力的补正，和基于所述  $PV$  值的燃料喷射量的补正。
- 10



## 内燃机的控制装置

### 5 技术领域

本发明涉及一种内燃机的控制装置，详细地说，涉及一种使柴油机的燃烧最佳化的控制装置。

### 背景技术

10 由于近年来对强化限制废气和降低噪音的要求，在柴油机方面，燃烧室内的燃烧最佳化的要求也逐渐提高起来。为了实现燃烧的最佳化，在柴油机中，必须正确控制燃料喷射量、燃料喷射时间、喷射期间等。

15 但是，在柴油机中，一般不进行吸入空气量的调整而根据燃料喷射量来控制内燃机负荷。因此，在柴油机中，在大大高于理论空燃比的稀空燃比区域内进行燃烧，并且空燃比根据负荷发生变化。因此，在现有的柴油机中，并不是像汽油机那样严密控制空燃比，也不像汽油机那样对燃料喷射量、燃料喷射时间等燃料喷射参数也进行精密的控制。此外，以往，在柴油机中，虽然是根据内燃机运转条件（转速、  
20 加速踏板开度等）来决定燃料喷射量、喷射时间、喷射压力等燃料喷射特性值的目标值，根据该目标值对燃料喷射阀进行开环控制，但是，在开环控制中，但是在开环控制中，无法防止实际的燃料喷射量相对于目标喷射量产生误差值，所以难以在将燃烧状态作为目标的状态下进行正确控制。  
25

另外，为了改善废气特性和降低噪音，在各汽缸的一冲程循环中，在主燃料喷射的前后进行多次的燃料喷射，将燃烧状态调整为最佳的多点燃料喷射是有效的。但是，为了进行多点燃料喷射，必须精密控  
30 制多次燃料喷射的各自的燃料喷射量和喷射时间。

此外，为了改善燃烧状态，在最近的柴油机中所采用的共轨式高压燃料喷射装置中，由于燃料喷射时间短，并且在喷射过程中燃料喷射压力发生变化，所以存在燃料喷射量易产生误差值的问题。因此，  
5 在共轨式高压燃料喷射装置中，虽然采用很小地设定燃料喷射阀的公差值而提高燃料喷射精度等对策，但是实际上由于燃料喷射阀各部的磨损等而使燃料喷射特性随着使用时间发生变化，所以进行开环控制时，通常难以使燃料喷射特性值与目标值一致。

10 这样，由于在柴油机中燃料喷射量等容易产生误差值，所以即使可以设定得到最佳燃烧状态的目标值，实际上也难以使其燃料喷射量与目标值一致。

15 另一方面，为了降低内燃机的燃烧温度而减少  $\text{NO}_x$  等有害排出物，公知的技术是将一部分内燃机废气作为 EGR（废气再循环）气体使其回流到内燃机燃烧室中。此外，通常在进行稀空燃比运转的柴油机中，通过将较多量的 EGR 气体供应给燃烧室，可以减少废气中的有害排出物。

20 但是，EGR 气体对燃烧影响很大，尤其是在柴油机中，EGR 气体量对燃料喷射开始后直至所喷射的燃料开始燃烧的着火延迟时间影响很大。因此，过多地向燃烧室供应 EGR 气体时，则内燃机的燃烧状态恶化，导致内燃机性能的下降和废气特性的恶化。

25 另一方面，EGR 气体量少时，抑制有害排出物的效果降低。因此，必须根据内燃机的运转状态适量控制 EGR 气体量。

30 但是，以往，通常不进行对 EGR 气体量的精密控制，尤其是在柴油机中，将用于控制 EGR 气体流量的 EGR 阀的开度开环控制为由内燃机转速和加速踏板开度（加速踏板的踏入量）所决定的值。

但是,由于近年来对强化限制废气和降低噪音的要求,导致对 EGR 气体流量也必须精密控制为最佳值。当这样进行精密的 EGR 控制时,在现有的基于内燃机转速和加速踏板开度的开环控制中无法得到足够的精度。此外,例如,在汽油发动机中,虽然可以在内燃机排气通路上配置空燃比传感器,根据由空燃比传感器所检测出的排气空燃比来控制 EGR 气体量,但是由于像柴油机等那样有时在排气空燃比极其稀薄的状态下进行运转的内燃机中,空燃比传感器的检测精度降低,所以存在根据空燃比传感器所检测出的排气空燃比控制 EGR 气体量时误差值变大的问题。

在 EGR 气体量的控制中,检测出实际的燃烧状态为何种形式,并且使实际的燃烧状态与作为目标的燃烧状态一致地对 EGR 气体量进行反馈控制是有效的。

即,相对于以往的对燃料喷射量、燃料喷射时间、EGR 气体量等进行基于内燃机转速和加速踏板开度的开环控制,为了改善废气的特性和降低噪音,必须根据实际的燃烧状态对燃料喷射量、燃料喷射时间、EGR 气体量等进行正确的反馈控制。

这样,作为根据实际的内燃机燃烧状态控制燃料喷射和 EGR 的装置,例如有特开 2000—54889 号公报所记载的装置。

虽然特开 2000—54889 号公报中的装置,不是关于柴油机而是关于汽油发动机的装置,但是作为表示内燃机的燃烧状态的燃烧参数利用燃烧室内的放热率,控制 EGR 气体流量和燃料喷射时间、燃料喷射量、点火时间等,使得放热率形成规定的模型。

即,特开 2000—54889 号公报中的装置,在汽缸上配置用于检测内燃机燃烧室内压力的汽缸内压力传感器,根据所检测出的实际的燃

烧室内压力（燃烧压）和曲柄转角算出各曲柄转角上的放热率，反馈控制 EGR 气体量、点火时间、燃料喷射时间等，使得相对于放热率的曲柄转角的变化模型，与根据运转条件所预设的理想的模型一致，从而得到最佳的燃烧。

5

在上述特开 2000—54889 号公报中的装置中，作为关于燃烧的参数选定放热率，算出实际的运转状态中的放热率模型，反馈控制点火时间、燃料喷射量等，使得该放热率形成规定的模型。虽然特开 2000—54889 号公报的装置涉及汽油机，但是例如在柴油机中同样可以考虑通过设置汽缸内压力传感器，根据汽缸内压力传感器的输出算出放热率的模型，反馈控制燃料喷射时间、燃料喷射量，使得该放热率的峰值位置和模型达到规定的峰值位置和放热率模型。

但是，在特开 2000—54889 号公报的装置中，作为表示内燃机的燃烧状态的参数，仅利用燃烧室中的放热率进行燃烧状态的反馈控制。在特开 2000—54889 号公报的装置中，使用了汽油机，在汽油机中，进行预混合气体的火花点火，点火、燃烧等燃烧参数也变化不大。因此，作为表示燃烧状态的参数，即使只利用放热率的峰值位置和模型，也不会产生大的误差值。

20

但是，在柴油机中，例如，有时不仅进行主燃料喷射，还进行包括在主燃料喷射之前所进行的预喷射和在主燃料喷射之后所进行的残喷射等的多点燃料喷射，有时仅使喷射形式（喷射模式）也大不相同。另外，在柴油机中，燃烧模型（燃烧模式）根据 EGR 气体量发生变化。

25

因此，由于燃烧室内的压力变化也根据喷射模式和燃烧模式而大不相同，所以仅通过放热率的峰值位置和模型来进行燃烧状态的反馈控制未必合适。

30

例如，在柴油机的汽缸内燃料喷射阀上，喷射量和喷射时间等的燃料喷射特性随着使用时间逐渐发生变化而产生燃料喷射特性的偏差，这样的偏差难以根据上述的放热率峰值位置和模型准确修正。

5           此外，虽然当进行预喷射和主燃料喷射、或残喷射等多点燃料喷射时，为了使燃烧状态最佳，必须将各自的喷射的燃料喷射量和喷射时间控制为最佳，但是难以仅根据放热率峰值位置和模型，反馈控制多个燃料喷射的燃料喷射特性。

10           另一方面，作为利用放热率以外的参数检测出燃烧状态，根据燃烧状态反馈控制多点燃料喷射的燃料喷射特性的内燃机的燃料控制装置的例子，有特开 2001-123871 号公报所记载的装置。

15           特开 2001-123871 号公报中的装置，测量内燃机的燃烧噪音，根据所测出的燃烧噪音判断预喷射量过多还是过少，据此补正预喷射量。此外，作为燃烧噪音，利用通过用于检测燃烧室内压力的汽缸内压力传感器所检测出的汽缸内压力的微分值或 2 阶微分值，从而可以消除机械振动的影响而提高燃烧噪音的检测精度。

20           即，特开 2001-123871 号公报中的装置，根据实际上所测量出的燃烧噪音反馈控制预喷射量，从而通常将燃烧噪音抑制在目标强度以下。

25           如上所述，在特开 2001-123871 号公报中的装置中，由于根据实际所测量的燃烧噪音反馈控制预喷射量，所以通常可以将燃烧噪音抑制在目标水平以下。但是，在上述特开 2001-123871 号公报的装置中，虽然将燃烧噪音抑制在目标值以下，但是通常未必会得到良好的燃烧状态，相反，有时会导致排气特性的恶化。

30           即，虽然为了得到良好的排气特性，不仅需要适当控制预喷射的

喷射量，还必须适当控制喷射时间，但是在特开 2001-123871 号公报的装置中，根据燃烧噪音仅控制预喷射的喷射量，对于喷射时间并未进行基于实际的燃烧状态的控制。因此，在特开 2001-123871 号公报的装置中，存在即使燃烧噪音降低，通常排气特性也未必会提高的问题。

另外，特开 2001-123871 号公报的装置，由于仅将预喷射、且只进行一次预喷射的运转作为对象，所以存在，对于有时进行多次的预喷射和在主燃料喷射之后进行残喷射的多点燃料喷射，无法适当控制各燃料喷射的喷射量和喷射时间的问题。

#### 发明内容

鉴于上述问题，本发明的目的在于提供一种内燃机的控制装置，其在柴油机中，也可以通过根据喷射模式和燃烧模式使用最佳的燃烧参数而进行对燃料喷射量、喷射时间、EGR 气体量的反馈控制，将柴油机的燃烧状态控制为最佳。

为达成上述目的，根据本发明所提供的内燃机的控制装置，在内燃机燃烧室内具有用于喷射燃料的燃料喷射阀、作为 EGR 气体使一部分内燃机排气回流到内燃机燃烧室内的 EGR 装置以及用于检测内燃机燃烧室内的压力的汽缸内压力传感器，其中，包括：燃烧参数计算装置，根据通过所述汽缸内压力传感器所检测出的燃烧室内压力和利用内燃机曲柄转角预设的关系，计算出含有汽缸内发热量、燃烧开始时间和燃烧期间中的至少其一的表示内燃机燃烧状态的燃烧参数；和补正装置，补正燃料喷射量、燃料喷射时间和 EGR 气体量的任意一个以上，使得所计算出的燃烧参数达到根据内燃机运转状态所预设的目标值；作为所述燃烧参数，从根据燃烧室内压力和内燃机曲柄角度所计算出、表示所述内燃机燃烧状态的多种燃烧参数中，利用根据内燃机的燃料喷射模式或燃烧模式所选择的燃烧参数进行通过所述补正装置的补正。

即，在本发明中，虽然根据由汽缸内压力传感器所检测出的实际的燃烧室内压力和曲柄转角算出表示内燃机的燃烧状态的燃烧参数，但是，作为该燃烧参数，例如不仅是只利用放热率控制所有的情况，  
5 还从根据燃烧室内压力和曲柄转角所算出的多种燃烧参数中，根据由燃料喷射的次数等燃料喷射模式和 EGR 量等所决定的燃烧模式，选择最佳的燃烧参数，即，在其燃料喷射模式和燃烧模式中，误差值最小的参数，用于反馈控制。这样，从多种燃烧参数中，根据燃料喷射模式和燃烧模式选择误差值最小的燃烧参数来进行反馈控制，从而可以  
10 将柴油机的燃烧控制为最佳。

另外，在本说明书中，将根据燃烧室内压力所算出的、表示燃烧室内的燃烧状态的参数称作燃烧参数。

15 作为可在本发明中使用的燃烧参数，例如有以下参数。

开始燃烧后的燃烧室内压力的最大值  $P_{max}$ （参见图 2）和燃烧室内压力最大时的曲柄转角。

20 当产生燃烧室内压力的相对于曲柄转角的变化率的最大值  $(dP/d\theta)_{max}$ （参见图 4）时的曲柄转角。

当产生燃烧室内压力的 2 阶微分值的最大值  $(d^2P/d\theta^2)_{max}$  时的曲柄转角。

25 燃烧室内压力和燃烧室内实际容积的乘积的最大值  $PV_{max}$  和产生  $PV_{max}$  时的曲柄转角。

30 燃烧室内压力和燃烧室内实际容积的乘积的最大值  $PV_{max}$ ，与在产生  $PV_{max}$  时的曲柄转角  $(\theta_{pvmax})$  处，假定未发生燃烧时的仅

由压缩所产生的燃烧室内压力和燃烧室内实际容积的乘积  $PV_{\max\text{base}}$  的差值为  $\Delta PV_{\max}$  ( $=PV_{\max} - PV_{\max\text{base}}$ ) (参见图 7)。

当产生汽缸内放热率的最大值  $(dQ/d\theta)_{\max}$  时的曲柄转角。

5

汽缸内总发热量  $\Sigma dQ$ 。

开始燃烧后的汽缸内压力的最大值  $P_{\max}$  与从达到压缩上止点后到燃烧室内开始燃烧之间的汽缸内最小压力  $P_{\min}$  (参见图 8) 的差值，  
10  $P_{\max} - P_{\min}$ 。

开始燃烧后的汽缸内压力的最大值  $P_{\max}$ ，与在所述汽缸内压力最大时的曲柄转角处，假定未发生燃烧时的仅由压缩所产生的燃烧室内压力  $P_{\max\text{base}}$  (参见图 9) 的差值， $P_{\max} - P_{\max\text{base}}$ 。

15

从这些燃烧参数中根据喷射模式、燃烧模式利用合适的参数控制燃料喷射量、喷射时间、EGR 气体量等，从而可以将内燃机的燃烧状态控制为最佳。

20

此外，尤其是在 EGR 的控制上，作为燃烧参数，利用从燃料喷射开始时到产生所述的燃烧室内压力与燃烧室实际容积的乘积的最大值  $PV_{\max}$  的曲柄转角的时间  $\Delta t$  时，可以进行高精度的 EGR 控制。

25

同样，在 EGR 控制上，作为燃烧参数，利用燃料喷射开始后，到根据由燃烧室内压力  $P$ 、由曲柄转角  $\theta$  所决定的燃烧室容积  $V$  和燃烧气体的比热比  $k$  所算出的  $PV^k$  值而计算出的  $PV^k$  值取最小值  $PV^{k\min}$  的时间  $\Delta t_d$ ，或利用开始由燃料喷射阀喷射燃料后，从  $PV^k$  值取最小值  $PV^{k\min}$  到取最大值  $PV^{k\max}$  的时间  $\Delta t_c$ ，也可以进行高精度的 EGR 控制。

30



另外, 当进行多点燃料喷射时, 还可以将利用燃烧室内压力  $P$ 、由曲柄转角  $\theta$  所决定的燃烧室容积  $V$  和预设的常数  $\gamma$ , 利用作为  $V$  的  $\gamma$  次方与  $P$  的乘积所表示的参数  $PV^\gamma$  的相对于曲柄转角  $\theta$  的变化率  $d(PV^\gamma)/d\theta$  所算出的燃烧室内的包括燃烧开始时间和终止时间的燃烧时间, 用作燃烧参数, 补正各燃料喷射的喷射时间和喷射量 (燃料喷射压力), 使得这些燃料参数与目标值一致。

#### 附图说明

图 1 是表示将本发明的燃料喷射装置用于汽车用柴油机时的实施方式  
10 方式的概略结构的图。

图 2 是用于说明燃烧参数  $P_{max}$  的图。

图 3 是用于说明根据燃烧参数  $(dP/d\theta)_{max}$  的喷射模式的区别使用的图。

图 4 是用于说明燃烧参数  $(dP/d\theta)_{max}$  的图。

15 图 5 是用于说明根据燃烧参数  $(d^2P/d\theta^2)_{max}$  的喷射模式的区别使用的图。

图 6 是用于说明根据燃烧参数  $(dQ/d\theta)_{max}$  的喷射模式的区别使用的图。

图 7 是用于说明燃烧参数  $\Delta PV_{max}$  的图。

20 图 8 是用于说明燃烧参数  $(P_{max} - P_{min})$  的图。

图 9 是用于说明燃烧参数  $(P_{max} - P_{maxbase})$  的图。

图 10 是用于说明燃烧参数  $(PV_{main} - PV_{mainbase})$  的图。

图 11 是用于说明燃烧参数  $(P_{mtdc} - P_{min})$  的图。

25 图 12 是用于说明本发明的燃料喷射补正操作的一实施方式的流程图。

图 13 是表示汽缸内压力传感器的校准原理的图。

图 14 是用于说明燃烧参数  $(\Delta PV_{max} - \Delta PV_{after})$  的图。

图 15 是用于说明燃烧参数  $(P_{main} - P_{mainbase})$  的图。

30 图 16 是用于说明燃烧模式切换时的燃料喷射控制操作的流程图。

图 17 是用于说明在本实施方式中所使用的燃烧参数的定义的图。

图 18 是用于说明本实施方式中的燃料喷射等基本控制的流程图。

5 图 19 是用于说明本实施方式中的利用燃烧参数的燃料喷射等的控制操作的流程图。

图 20 是用于说明利用燃烧参数的 EGR 率控制的另一实施方式的流程图。

10 图 21 是用于说明从通常的燃烧模式向低温燃烧模式的切换控制的定时图。

图 22 是用于说明从低温燃烧模式返回到通常的燃烧模式时的切换控制的定时图。

图 23 是用于说明构成多点燃料喷射的各燃料喷射的图。

图 24 (A) 是用于说明本实施方式中的燃烧期间的检测原理的图。

15 图 24 (B) 是用于说明发热量的检测原理的图。

图 25 是用于说明各燃料喷射中的燃烧时间和发热量的计算操作的流程图。

图 26 是用于说明本实施方式的燃料喷射校正操作的顺序的流程图。

20

### 具体实施方式

下面，参照附图对本发明的实施方式进行说明。

25 图 1 是表示将本发明的燃料喷射装置应用于汽车用柴油机时的实施方式的概略结构的图。

30 在图 1 中，1 表示内燃机（在本实施方式中，使用具有从 #1 到 #4 四个汽缸的四汽缸四循环柴油机），10a~10d 表示直接向从内燃机 1 的 #1 到 #4 的各汽缸燃烧室喷射燃料的燃料喷射阀。燃料喷射阀 10a~10d，分别通过燃料通路（高压燃料配管）连接在共用的蓄压

器（共用轨道）3 上。共用轨道 3 具有贮存由高压燃料喷射泵 5 所供应的加压燃料，并通过高压燃料配管将所贮存的高压燃料分配给各燃料喷射阀 10a~10d 的功能。

5            在本实施方式中，设有用于使一部分内燃机的废气回流到各汽缸燃烧室的 EGR 装置。EGR 装置，包括：用于连接内燃机的排气通路和内燃机的吸气通路或各汽缸的吸气口的 EGR 通路 33；和配置在该 EGR 通路上，具有作为控制从排气通路向吸气通路回流的废气（EGR 气体）流量的流量控制阀的功能的 EGR 阀 35。EGR 阀 35，具有步进  
10            电动机等适当形式的执行机构 35a，根据来自后述的 ECU20 的控制信号控制 EGR 阀开度。

            图 1 中 20 所表示的是进行内燃机的控制的电子控制单元（ECU）。ECU20 是作为通过双向总线连接只读存储器（ROM）、随机存储器  
15            （RAM）、中央处理器（CPU）以及输入输出端口的公知结构的微型电子计算机而构成的。ECU20，在本实施方式中，除了控制燃料泵 5 的喷出量，将共用轨道 3 压力控制为根据内燃机运转条件所决定的目标值的燃料压力控制以外，还根据内燃机运转状态设定燃料喷射的喷射时间及喷射量、EGR 气体量，并且进行对燃料喷射量、喷射时间、  
20            EGR 气体量等进行反馈控制的内燃机的基本控制，使得根据后述汽缸内气体压力传感器所计算出的燃烧参数的值，与根据内燃机运转状态所决定的目标值一致。

            为了进行这些控制，在本实施方式中，除了在共用轨道 3 上设置  
25            用于检测共用轨道内燃料压力的燃料压力传感器 27 以外，还在内燃机 1 的加速踏板（未图示）附近设置用于检测加速踏板开度（驾驶员的加速踏板的踏入量）的加速踏板开度传感器 21。此外，图 1 中的 23 所表示的是用于检测内燃机 1 的凸轮轴的旋转相位的凸轮角传感器，  
25            25 所表示的是用于检测曲轴的旋转相位的曲柄转角传感器。凸轮角传感器 23 配置在内燃机的凸轮轴附近，换算为曲柄转角并每隔 720 度  
30            传感器 23 配置在内燃机的凸轮轴附近，换算为曲柄转角并每隔 720 度

输出基准脉冲。此外，曲柄转角传感器 25，配置在内燃机的曲轴附近，每隔规定的曲柄转角（例如每 15 度），产生曲柄转角脉冲。

5 ECU20，根据由曲柄转角传感器 25 输入的曲柄转角脉冲信号的频率计算出内燃机转速，根据由加速踏板开度传感器 21 输入的加速踏板开度信号和内燃机转速，计算出燃料喷射阀 10a~10d 的燃料喷射时间和燃料喷射量、EGR 阀 35 开度（EGR 气体量）。

10 此外，图 1 中的 29a~29d 所表示的是，配置在各汽缸 10a~10d 上的用于检测汽缸燃烧室内的压力的公知形式的汽缸内压力传感器。通过汽缸内压力传感器 29a~29d 所检测出的各燃烧室内压力，经过 AD 转换器 30 供应给 ECU20。

15 在本实施方式中，通过 ECU20 将共用轨道 3 的燃料压力控制为适应内燃机运转状态的压力，例如从 10Mpa 到 150Mpa 左右的高压，在很广的范围内变化。此外，在柴油机中，一般在主燃料喷射之前进行一次或多次向汽缸内喷射较少量的燃料的预喷射。由于通过预喷射向汽缸内喷射的燃料，在主燃料喷射之前燃烧而使汽缸内的温度压力上升到适于主燃料喷射的燃烧的状态，所以可以通过进行预喷射来降低燃烧噪音。

20 此外，在像本实施方式这样进行高压燃料喷射的柴油机中，有时在主燃料喷射之后进行一次或多次残喷射和后喷射。残喷射是，当主燃料喷射的燃料喷射量增多，一次喷射时燃烧状态恶化时，为了使汽缸内的燃料压力变化最佳化而进行的，后喷射是例如为提高排气温度所进行的。

30 在柴油机中，由于不必像现有的汽油机那样准确控制空燃比，所以燃料喷射量的控制也不要求较高的精度。但是，在上述高压的燃料喷射中，除了主燃料喷射以外，还要求预喷射、残喷射等多点燃料喷

射。(在本说明书中,将除主燃料喷射以外所进行的预喷射、残喷射、后喷射等总称为多点燃料喷射。)

另外,后面对多点燃料喷射进行详细说明。

5

因此,必须在柴油机中高精度地进行燃料喷射。但是,现有的燃料喷射控制,基本上是从根据内燃机运转条件(转速、加速踏板开度)所预设的图像设定燃料喷射量、燃料喷射时间的开环控制,实际上随着燃料喷射压力的高压化的燃料喷射时间的缩短,和共轨式燃料喷射中的燃料喷射中的共用轨道压力(燃烧喷射压力)变动和伴随使用的燃料喷射阀的燃料喷射特性的变化等,是燃料喷射量产生误差值的主要原因,难以通过对燃料喷射量、喷射时间等进行开环控制来准确控制。

15

因此,在本实施方式中利用表示内燃机的燃烧状态的参数,通过对燃料喷射量、喷射时间等进行反馈控制,使该参数成为根据内燃机运转状态所设定的最佳值(目标值),从而将内燃机的燃烧状态维持在最佳状态。

20

在本实施方式中,作为表示燃烧状态的参数,使用根据汽缸内压力传感器 29a~29d 所检测的燃烧室内压力和曲柄转角所计算出的参数,将根据这些燃烧室内压力和曲柄转角所计算出的表示燃烧室内的燃烧的参数称作燃烧参数。

25

并且,根据燃烧室内压力所算出的表示燃烧状态的参数,即,燃烧参数也存在无数,理论上这些中的任意一个都可以用于燃料喷射量、喷射时间等的反馈控制。但是,实际上判明根据内燃机的燃料喷射模式(只有主燃料喷射,或主燃料喷射和多点燃料喷射的组合)、燃烧模式(EGR 量的大小等),反馈控制的精度根据所利用的燃烧参数发生大变化。

30

因此，在本实施方式中，预先设定多种表示与燃烧状态的良好  
密切联系的燃烧参数，根据内燃机 1 的燃料喷射模式或燃烧模式从中  
选择、使用控制误差值最小的参数。

5

不是与燃料喷射模式和燃烧模式无关，使用同一燃烧参数，而使  
如上所述根据燃料喷射模式和燃烧模式从多种燃烧参数中选择并使用  
最佳的燃烧参数，从而在本实施方式中，尽管燃料喷射模式和燃烧模  
式不同，通常也可以维持柴油机的最佳燃烧状态。

10

以下表示在本实施方式中所使用的燃烧参数的代表例。在本实施  
方式中，根据燃料喷射模式和燃烧模式从以下的燃烧参数中选择最佳  
的参数，作为燃烧参数使用。

15

(1) 开始燃烧后的燃烧室内压力的最大值  $P_{\max}$ ，和产生该最大  
值的曲柄转角  $\theta_{p\max}$  (图 2)

(2) 产生燃烧室内压力的相对于曲柄转角的变化率的局部性的  
最大值 (极大值)  $(dP/d\theta)_{\max}$  时的曲柄转角

20

(3) 产生燃烧室内压力的 2 阶微分值的局部性的最大值 (极大  
值)  $(d^2P/d\theta^2)_{\max}$  时的曲柄转角

25

(4) 燃烧室内压力和燃烧室内实际容积的乘积的最大值  $PV_{\max}$   
和产生该最大值时的曲柄转角  $\theta_{pv\max}$

30

(5) 上述  $PV_{\max}$ ，与在产生  $PV_{\max}$  时的曲柄转角  $\theta_{pv\max}$  处，  
假定未发生燃烧时的仅由压缩所产生的燃烧室内压力和燃烧室内实际  
容积的乘积  $PV_{\max\text{bsae}}$  的差值  $\Delta PV_{\max}$  ( $=PV_{\max} - PV_{\max\text{base}}$ ) (参  
见图 7)

(6) 当产生汽缸内放热率的最大值  $(dQ/d\theta)_{\max}$  时的曲柄转角

(7) 汽缸内总发热量  $\Sigma dQ$

5

(8) 开始燃烧后的汽缸内压力的最大值  $P_{\max}$  与压缩上止点后到燃烧室内开始燃烧之间的燃烧室内最小压力  $P_{\min}$  的差值,  $P_{\max} - P_{\min}$

10

(9) 开始燃烧后的燃烧室内压力的最大值  $P_{\max}$ , 与在产生  $P_{\max}$  的曲柄转角处, 假定未发生燃烧时的仅由压缩所产生的燃烧室内压力 (电动回转压力)  $P_{\max\text{base}}$  的差值,  $P_{\max} - P_{\max\text{base}}$

15

(10) 通过主燃料喷射所喷射的燃料着火时的燃烧室内压力和燃烧室内实际容积的乘积  $PV_{\text{main}}$ , 与在通过主燃料喷射多喷射的燃料着火的曲柄转角处, 假定未发生燃烧时的仅由压缩所产生的燃烧室内压力和燃烧室内实际容积的乘积  $PV_{\text{mainbase}}$  的差值 ( $PV_{\text{main}} - PV_{\text{mainbase}}$ ) (参见图 10)

20

(11) 上述的  $\Delta PV_{\max}$ , 与由残喷射所喷射的燃料着火时的燃料室内压力和燃烧室内实际容积的乘积, 和在由残喷射所喷射的燃料着火时的曲柄转角处, 假定未发生燃烧时的仅由压缩所引起的燃烧室内压力和燃烧室内实际容积的乘积的差值  $\Delta PV_{\text{after}}$  的差值 ( $\Delta PV_{\max} - \Delta PV_{\text{after}}$ ) (参见图 10, 图 14)

25

(12) 压缩冲程上止点上的燃烧室内压力, 与从达到压缩上止点后到在燃烧室内开始燃烧之间的燃烧室内最小压力  $P_{\min}$  的差值  $P_{\text{tdc}} - P_{\min}$

30

下面, 对各燃烧参数进行简单说明。

(1)  $P_{max}$ ，和产生  $P_{max}$  的曲柄转角 ( $\theta_{pmax}$ )

开始燃烧后的燃烧室内压力的最大值，通常出现在汽缸压缩冲程上止点后，根据由主燃料喷射所喷射的燃料的燃烧，作为汽缸内压力上升至最高时的汽缸内压力进行。

图 2 表示一般的柴油机的从吸气冲程到膨胀冲程过程中的汽缸内压力变化，纵轴表示压力，横轴表示曲柄转角。

在图 2 中，TDC 表示压缩冲程上的上止点（以下，简称为上止点）。在柴油机中，由于通常由上止点附近喷射燃料，活塞通过上止点之后开始燃烧，所以，通过上止点之后汽缸内压力大大提高。 $P_{max}$ ，如图 2 所示，是开始燃烧后的燃烧室内压力的最大值， $\theta_{pmax}$  是产生  $P_{max}$  时的曲柄转角。

通过监测汽缸内压力传感器 29a~29d 的输出，容易求出  $P_{max}$ 、 $\theta_{pmax}$ 。

在本实施方式中， $P_{max}$  用于主燃料喷射的喷射量补正， $\theta_{pmax}$  用于主燃料喷射的喷射时间补正。

即，在本实施方式中，预先通过实验求出改变内燃机运转状态，即，内燃机转速和加速踏板开度而运转内燃机时的最佳燃烧状态中的  $P_{max}$  和  $\theta_{pmax}$  的值（目标值），分别以利用内燃机转速和加速踏板开度作为参数的二维图像的形式，预先存储在 ECU20 的 ROM 上。

内燃机运转过程中，ECU20 根据汽缸内压力传感器 29a~29d 的输出求出各汽缸的  $P_{max}$  和  $\theta_{pmax}$ ，根据这时的内燃机转速和加速踏板开度利用上述图像读出  $P_{max}$  和  $\theta_{pmax}$  的目标值。并且，对主燃料喷射的燃料喷射量进行增减补正，使得  $P_{max}$  与其目标值一致，同时，



修正主燃料喷射的燃料喷射时间，使得 $\theta_{pmax}$  与其目标值一致。

由此，可以使主燃料喷射的喷射量和喷射时间最佳化，将内燃机的燃烧维持在最佳的状态。

5

### (2) 产生 $(dP/d\theta)_{max}$ 时的曲柄转角

作为燃烧参数利用产生  $(dP/d\theta)_{max}$  时的曲柄转角，修正燃料喷射时间，使得产生  $(dP/d\theta)_{max}$  时的曲柄转角成为目标值。

10

燃烧室内所喷射的燃料燃烧时，燃烧室内的压力上升。因此，燃烧室内压力变化率  $(dP/d\theta)$  的值，每进行主燃料喷射、多点燃料喷射等燃料喷射时增大，产生与各喷射对应的数  $(dP/d\theta)$  的峰值。因此，作为燃烧参数，使用产生各峰值上的燃烧室内压力变化率  $(dP/d\theta)$  的最大值（极大值） $(dP/d\theta)_{max}$  的曲柄转角，从而可以根据各燃料喷射模式修正各燃料喷射的喷射时间。

15

例如，当进行主燃料喷射和多点燃料喷射时，相对于一冲程循环，进行多次燃料喷射。这时，虽然对于燃烧压力本身，也会产生与由各燃料喷射所喷射的燃料的燃烧对应的极大值，但是由于燃烧室内的压力上升因各喷射而相互影响，所以难以分离检测各个喷射的极大值  $(P_{max})$ 。

20

相对于此，压力变化率  $(dP/d\theta)$  相对于各燃料喷射出现明显的峰值。因此，作为燃烧参数使用产生  $(dP/d\theta)_{max}$  的曲柄转角，从而当进行多点燃料喷射时也可以进行各喷射的喷射时间的准确修正。

25

图 3、图 4 是用于说明适应喷射模式的  $(dP/d\theta)_{max}$  的区别使用的图。例如，在一冲程循环中进行主燃料喷射、预喷射和残喷射的内燃机中，对应于各喷射也产生三个压力变化率的峰值  $(dP/d\theta)_{max}$ 。图 3 中的  $(dP/d\theta)_{max}$ 、 $(dP/d\theta)_{NO.2max}$ 、 $(dP/d\theta)_{NO.3max}$ ，表

30

示压缩冲程开始后（由压缩冲程后期到膨胀冲程）所产生的压力变化率的峰值中，第一个的峰值，第二个峰值，第三个峰值（参见图4）。

5 图3的第1列表示燃料喷射模式。在本实施方式中，由于在主燃料喷射中可以分别组合各一次的预喷射和/或残喷射的多点燃料喷射，所以可以考虑的燃料喷射的数量为：只有主燃料喷射、预喷射+主燃料喷射、主燃料喷射+残喷射、预喷射+主燃料喷射+残喷射这四种。

10 例如，当如图3所示仅实施主燃料喷射时，可以利用产生 $(dP/d\theta)_{\max}$ 的曲柄转角修正主燃料喷射的喷射时间。

此外，当喷射模式为预喷射+主燃料喷射时，分别利用产生 $(dP/d\theta)_{\max}$ 的曲柄转角修正引导燃料喷射的喷射时间，或利用产生 $(dP/d\theta)_{NO.2\max}$ 的曲柄转角修正主燃料喷射的喷射时间。

15 此外，例如当喷射模式为预喷射+主燃料喷射+残喷射时，分别利用产生 $(dP/d\theta)_{\max}$ 、 $(dP/d\theta)_{NO.2\max}$ 、 $(dP/d\theta)_{NO.3\max}$ 的曲柄转角，修正引导燃料喷射、主燃料喷射、残喷射的喷射时间。

20 (3) 产生燃烧室内压力的2阶微分值的最大值 $(d^2P/d\theta^2)_{\max}$ 时的曲柄转角

与上述的压力变化率的极大值相同，燃烧室内压力的2阶微分值的最大值 $(d^2P/d\theta^2)_{\max}$ 也存在于各个喷射中。因此，反馈控制各喷射的燃料喷射量和喷射时间，使得产生 $(d^2P/d\theta^2)_{\max}$ 的曲柄转角成为根据内燃机运转状态所预设的最佳值，从而可以将内燃机燃烧状态

25 维持在最佳的状态。

图5是与图3相同的用于说明适应喷射模式的 $(d^2P/d\theta^2)_{\max}$ 的区别使用的图。如图5所示， $(d^2P/d\theta^2)_{\max}$ ，可以与 $(dP/d\theta)_{\max}$ 完全相同地区别使用。此外，例如，尤其是当使燃料喷射时间变化时

30

的  $(dP/d\theta)_{\max}$  的曲柄转角变化迟钝时，具有取代  $(dP/d\theta)_{\max}$  而利用  $(d2P/d\theta^2)_{\max}$  进行喷射时间补正的效果。

5 (4) 燃烧室内压力和燃烧室内实际容积的乘积的最大值  $PV_{\max}$ ，  
与产生该最大值时的曲柄转角  $\theta_{pv\max}$

$PV_{\max}$  与后述的汽缸内发热量密切相关，尤其是当燃料喷射模式为只有主燃料喷射时，可以进行高精度的控制。此外，由于作为曲柄转角的函数预先计算出燃烧室内实际容积  $V$ ，可以预先存储起来，所以与利用汽缸内发热量的情形相比，可以减轻 ECU20 的计算负荷。

10

在本实施方式中，当仅进行主燃料喷射时，分别反馈控制主燃料喷射量，使得  $PV_{\max}$  的值成为根据内燃机运转状态所决定的最佳值；或反馈控制主燃料喷射时间，使得产生  $PV_{\max}$  的曲柄转角  $\theta_{pv\max}$  成为根据内燃机运转状态所决定的最佳值。

15

(5) 上述  $PV_{\max}$ ，与在产生  $PV_{\max}$  时的曲柄转角  $\theta_{pv\max}$  处，假定未发生燃烧时的仅由压缩产生的燃烧室内压力和燃烧室内实际容积的乘积  $PV_{\max\text{bsae}}$  的差值  $\Delta PV_{\max}$  ( $=PV_{\max} - PV_{\max\text{base}}$ ) (参见图 7)

20

图 7 是与图 2 相同的用于说明  $\Delta PV_{\max} = PV_{\max} - PV_{\max\text{base}}$  的图。图 7 中的实线表示只有主燃料喷射时的  $PV$  值的变化。燃烧室内压力  $P$  和燃烧室内实际容积  $V$  的乘积  $PV$ ，如图 7 所示产生燃烧时，由于压力上升而增大，到达上止点 TDC 后达到最大值  $PV_{\max}$ 。

25

另一方面，图 7 中的虚线表示假定未发生燃烧时的  $PV$  值的变化，即，利用仅由压缩产生的燃烧室内压力（电动回转压力）计算的  $PV$  值 ( $PV_{\text{base}}$ )。作为产生  $PV_{\max}$  的曲柄转角处的  $PV_{\text{base}}$  的值，算出  $PV_{\max\text{base}}$ 。

30

$\Delta PV_{\max}$ ，不仅可以在燃料喷射模式只有主燃料喷射时，还可以

在存在预喷射和残喷射时等所有的燃料喷射模式中，用于补正总计燃料喷射量（总喷射量）。在本实施方式中，对各燃料喷射时间进行补正，使得产生  $(dP/d\theta)_{\max}$  或  $(d^2P/d\theta^2)_{\max}$  的曲柄转角与目标值一致。

5

(6) 当产生汽缸内放热率的最大值  $(dQ/d\theta)_{\max}$  时的曲柄转角利用由汽缸内压力传感器 29a~29d 所检测出的汽缸内压力  $P$  和实际汽缸内容积  $V$ ，以下式表示汽缸内放热率。

$$(dQ/d\theta) = (k \cdot P \cdot (dV/d\theta) + V (dP/d\theta)) / (k-1)$$

其中， $P$ 、 $V$  是  $\theta$  的函数， $k$  表示混合气体的比热比。

汽缸内放热率  $(dQ/d\theta)$  的值，每当由主燃料喷射、多点燃料喷射等所喷射的燃料燃烧时则增大，与上述的  $(dP/d\theta)$  的情形相同地，产生与各喷射对应的数量的峰值。因此，作为燃烧参数使用产生各峰值  $(dQ/d\theta)_{\max}$  的曲柄转角，从而可以根据各燃料喷射模式补正各燃料喷射时间。

ECU20，利用由曲柄转角传感器 25 所检测出的曲柄转角和该转角处的实际容积，以及由汽缸内压力传感器 29a~29d 所检测出的各汽缸的汽缸内压力，每隔一定曲柄转角进行微分运算，近似地求出各个曲柄转角上的  $(dQ/d\theta)$  值，求出产生作为所计算出的  $(dQ/d\theta)$  值的极大值的  $(dQ/d\theta)_{\max}$  时的曲柄转角。

25

如上所述，与  $(dP/d\theta)_{\max}$  相同地，存在与一冲程循环时的燃料喷射的次数相同的  $(dQ/d\theta)_{\max}$ 。

图 6 表示适应燃料喷射模式的  $(dQ/d\theta)_{\max}$  的区别使用。在图 6 中， $(dQ/d\theta)_{\max}$ 、 $(dQ/d\theta)_{\text{NO.2max}}$ 、 $(dQ/d\theta)_{\text{NO.3max}}$  分别表

30

示  $(dQ/d\theta)$  的第一次、第二次、第三次极大值。图 6 中的  $(dQ/d\theta)_{\max}$  的区别使用，由于与图 3 中的  $(dP/d\theta)_{\max}$  的情形完全相同，所以在此省略详细说明。

5                   (7) 汽缸内总发热量  $\Sigma dQ$

汽缸内总发热量  $\Sigma dQ$ ，是通过在一冲程循环上对上述的  $(dP/d\theta)$  的值进行积分运算所求出的。由于  $\Sigma dQ$  相当于供应给燃烧室内的总燃料量，所以例如不仅可以在主燃料喷射中，还可以在含有预喷射和残喷射的燃料喷射模式中用于总燃料喷射量的补正。另外，喷射时间另行通过上述的任意方法进行补正。

(8) 开始燃烧后的汽缸内压力的最大值  $P_{\max}$ ，与压缩上止点后到燃烧室内开始燃烧为止的期间内燃烧室内最小压力  $P_{\min}$  的差值， $P_{\max} - P_{\min}$

15                   图 8 是与图 2 相同的表示  $P_{\max}$  与  $P_{\min}$  的图。这时，反馈控制主燃料喷射，使得  $P_{\max} - P_{\min}$  的值达到目标值，控制主燃料喷射时间，使得产生  $P_{\max}$  的曲柄转角  $\theta_{p_{\max}}$  达到目标值。 $P_{\max} - P_{\min}$ ，适用于燃料喷射模式为只有主燃料喷射时。

20                   (9) 开始燃烧后的燃烧室内压力的最大值  $P_{\max}$ ，与在产生  $P_{\max}$  的曲柄转角处，假定未发生燃烧时的仅由压缩产生的燃烧室内压力（电动回转压力） $P_{\max_{\text{base}}}$  的差值， $P_{\max} - P_{\max_{\text{base}}}$

图 9 是与图 2 相同的表示  $P_{\max}$  和  $P_{\max_{\text{base}}}$  的图。如图 9 所示  $P_{\max_{\text{base}}}$  是，产生  $P_{\max}$  的曲柄转角  $\theta_{p_{\max}}$  处的、假定未发生燃烧时的燃烧室内压力的变化，即，仅由压缩产生的燃烧室内压力（电动回转压力）。虽然  $P_{\max_{\text{base}}}$  可以通过计算得出，但是如图 9 所示，由于电动回转压力相对于压缩上止点左右对称，所以在本实施方式中，将相对于压缩上止点 TDC 与  $\theta_{p_{\max}}$  对称的压缩冲程曲柄转角  $\theta_{p_{\max}}'$  处的通过汽缸内压力传感器所检测出的压力，作为  $P_{\max_{\text{base}}}$  使用。

30

$P_{\max} - P_{\max\text{base}}$  虽然与上述的  $P_{\max} - P_{\min}$  相同地，当燃料喷射模式只有主燃料喷射时，用于补正主燃料喷射的燃料喷射量，但是，如图 9 所示，尤其适于当在燃烧室内压力变化过程中达到上止点后未出现最小压力  $P_{\min}$  时的燃料喷射量补正。此外，在本实施方式中，还可以进行补正主燃料喷射的喷射时间，使得产生  $P_{\max}$  的曲柄转角  $\theta_{\text{pmax}}$  与目标值一致。

#### (10) $PV_{\text{main}} - PV_{\text{mainbase}}$

图 10 是用于说明燃烧参数  $PV_{\text{main}} - PV_{\text{mainbase}}$  的图。在图 10 中，横轴表示曲柄转角，纵轴表示各曲柄转角处的燃烧室内压力  $P$  和燃烧室实际容积的乘积  $PV$ 。

图 10 表示除了主燃料喷射之外还进行预喷射时的情形。

如图 10 所示， $PV$  值分别在由预喷射所喷射的燃料着火时（图 10 中的点  $P$ ）和由主燃料喷射所喷射的燃料着火时（图 10 中的  $M$  点），急剧上升。

如图 10 所示， $PV_{\text{main}}$  是当主燃料喷射的燃料着火时（ $M$  点）的  $PV$  值。此外， $PV_{\text{mainbase}}$  是主燃料喷射的燃料着火时（ $M$  点）的曲柄转角处的、仅通过压缩得到的燃烧室内压力（电动回转压力） $P_{\text{mainbase}}$  和燃烧室实际容积  $V$  的乘积。

$PV_{\text{main}}$  的值，作为  $PV$  值的 2 阶微分值成为正值的点，可以容易地检测出，根据这时的曲柄转角可以求出电动回转压力  $P_{\text{mainbase}}$ ，从而利用该  $P_{\text{mainbase}}$  和燃烧室实际容积  $V$  计算出  $PV_{\text{mainbase}}$ 。

$PV_{\text{main}} - PV_{\text{mainbase}}$  尤其适于进行预喷射时的预喷射量的补正。

(11)  $\Delta PV_{\max} - \Delta PV_{\text{after}}$ 

图 14 是和图 10 相同的用于说明  $\Delta PV_{\max} - \Delta PV_{\text{after}}$  的图。

图 14 表示除了主燃料喷射之外还进行预喷射和残喷射时的情形。因此，在图 14 中，PV 值急剧增大的点有三处（图 14 中的 P 点、M 点、A 点各点）。此外，产生 PV 的最大值  $PV_{\max}$  的曲柄转角，成为在主燃料喷射的燃料开始燃烧后进行残喷射的时间点。

如上所示，作为 PV 的最大值  $PV_{\max}$  与产生  $PV_{\max}$  的曲柄转角处的电动回转时的 PV 值  $PV_{\max\text{base}}$  的差值，求出  $\Delta PV_{\max}$ 。

此外，作为当有残喷射所喷射的燃料开始燃烧时，即在图 14 中，开始燃烧后第三个产生的 PV 值的激增开始点（A 点）处的、由汽缸内压力传感器所检测出的燃烧室内压力和这时的燃烧室实际容积的乘积  $PV_{\text{after}}$ ，与作为 A 点的曲柄转角处的电动回转时的 PV 值的  $PV_{\text{afterbase}}$  的差值，求出  $\Delta PV_{\text{after}}$ 。

$$\text{即, } \Delta PV_{\max} = PV_{\max} - PV_{\max\text{base}}$$

$$\Delta PV_{\text{after}} = PV_{\text{after}} - PV_{\text{afterbase}}$$

燃烧参数  $\Delta PV_{\max} - \Delta PV_{\text{after}}$  尤其适于进行残喷射时的残喷射量的补正。

(12) 压缩冲程上止点处的燃烧室内压力  $P_{\text{mtdc}}$ ，与压缩上止点后到在燃烧室内开始燃烧为止的期间的燃烧室内最小压力  $P_{\text{min}}$  的差值  $P_{\text{mtdc}} - P_{\text{min}}$

图 11 是与图 2 相同的表示当维持燃料喷射量一定并调整 EGR 气体量而改变燃料空燃比时的燃烧室内压力变化的图。虽然当维持燃料喷射量一定时，尽管空燃比变化燃烧压力最大值  $P_{\max}$  却几乎不变，但是空燃比越低（EGR 率越高）混合气体的着火时间越远离压缩上止

点，压缩上止点处的燃烧室内压力与到达上止点后直至开始燃烧的期间的燃烧室内最小压力  $P_{min}$  的差值，根据空燃比发生变化。

因此，作为燃烧参数，利用压缩冲程上止点处的由压缩所产生的燃烧室内压力  $P_{mtdc}$  与到达上止点后的最小压力  $P_{min}$  的差值  $P_{mtdc} - P_{min}$ ，控制 EGR 量（例如，节气门阀开度），使得该值与目标值一致，从而可以将燃烧空燃比控制为最佳。此外，在这种情况下，利用  $P_{max}$  和产生  $P_{max}$  的曲柄转角控制主燃料喷射量和主燃料喷射时间。

另外， $P_{mtdc}$  必须是压缩冲程上止点处的未发生燃烧的状态下的压力，即，汽缸内的仅由压缩所产生的压力。因此，为了防止当由引导燃料喷射产生的燃烧等开始时产生误差值，作为  $P_{mtdc}$  利用通过以下算式所得出的计算值。

$$P_{mtdc} = P_{bdc} \cdot (\epsilon)^k = P_m \cdot (\epsilon)^k$$

其中， $P_{bdc}$  是吸气冲程下止点处的燃烧室内压力，与吸气管压力（增压） $P_m$  大致相等。此外， $\epsilon$  是汽缸的压缩比， $k$  是混合气体的比热比，优选通过实验预先求出的数值。

如后述所示，利用  $P_{max}$  和  $P_{mtdc} - P_{min}$  两个燃烧参数的控制，当在通常燃烧和低温燃烧之间的燃烧模式切换时等过渡时，特别有效。

另外，除了上述的燃烧参数以外，还可以使用以下所示的燃烧参数。

#### (a) $P_{max} - P_{mtdc}$

$P_{max}$  与  $P_{mtdc}$ （参见图 11）虽然分别如上所述，但是  $P_{max} - P_{mtdc}$ ，可以用于当只进行主燃料喷射时的总燃料喷射量（主燃料喷



射量)的补正。

(b) PVmain

关于 PVmain, 虽然通过图 10 对作为燃烧参数使用 PVmain—  
5 PVmainbase 的情形进行了说明, 但是由于 PVmain 表示主燃料喷射的  
燃料着火之前的汽缸内的热量, 所以通过补正预喷射量而使 PVmain  
达到根据运转状态所预设的值, 可以将预喷射量控制为适当的值。

(c) Pmain—Pmainbase

10 Pmain、Pmainbase 分别是主燃料喷射的燃料着火时的燃烧室内压  
力和产生改 Pmain 时的曲柄转角处的电动回转压力(参见图 15)。Pmain  
—Pmainbase 与 PVmain—PVmainbase 相同地, 也适于预喷射量的补  
正。

15 (d)  $\Sigma dQ_{main}$

$\Sigma dQ_{main}$  是, 从压缩冲程开始时到由主燃料喷射所喷射的燃料着  
火时为止对上述的汽缸内放热率 ( $dQ/d\theta$ ) 的值进行积分运算的值 (积  
分值)。由于  $\Sigma dQ_{main}$  相当于在主燃料喷射的燃料开始燃烧前供应给  
燃烧室内的总热量, 所以, 例如在含有预喷射的燃料喷射模式中, 相  
20 当于预喷射的喷射量。因此, 通过将  $\Sigma dQ_{main}$  作为燃烧参数使用, 可  
以适当补正预喷射量。

(e)  $\Sigma dQ - \Sigma dQ_{after}$

25  $\Sigma dQ$  是上述的汽缸内总发热量,  $\Sigma dQ_{after}$  是从压缩冲程开始到残  
喷射的燃料着火时为止的汽缸内放热率 ( $dQ/d\theta$ ) 的积分运算值 (积  
分值)。由于  $\Sigma dQ_{after}$  相当于到残喷射的燃料开始燃烧为止供应到燃  
烧室内的热量的总和, 所以  $\Sigma dQ - \Sigma dQ_{after}$  相当于仅由残喷射供应到  
燃烧室内的热量的总和, 即, 相当于残喷射的燃料喷射量。因此, 通  
30 过将  $\Sigma dQ - \Sigma dQ_{after}$  作为燃烧参数使用, 可以适当补正残喷射的喷射  
量。

接着，利用图 12 的流程图对本实施方式的燃料喷射修正操作进行说明。

5 通过 ECU20 施行图 12 的操作。下面说明图 12 的各步骤的操作。

步骤 1201:

步骤 1201 表示判断控制操作实行条件是否成立。在步骤 1201 中，根据内燃机的累计运转时间，或车辆的累计行驶距离，决定是否实行  
10 步骤 1203 以下的控制操作。

例如，当从内燃机开始工作的累计运转时间未达到规定值时（或车辆的行驶距离未达到规定值时），由于内燃机各部分的初始摩擦力大，所以进行喷射量、喷射时间的修正时，可能会产生误差值。因此，  
15 只有当内燃机的累计运转时间达到规定时间以上时，才实行图 12 中的控制操作。

步骤 1203:

在步骤 1203 中，进行汽缸内压力传感器 29a~29d 的校准。在此，  
20 进行汽缸内压力传感器的零点的偏差和增益的校准。

图 13 是用于说明汽缸内压力传感器的校准的图。

在图 13 中，横轴表示曲柄转角，纵轴表示汽缸内压力。此外，  
25 横轴的 BDC 表示吸气冲程的下止点，TDC 表示压缩冲程的上止点。此外，CR 是压缩冲程中的开始燃烧前的适宜的曲柄转角。

图 13 中的实线和虚线分别表示汽缸内压力传感器的实际的输出的变化和真实的汽缸内压力的变化。此外，PR1、PC1 所表示的是，  
30 吸气冲程下止点 BDC 处的各汽缸内压力传感器的输出和真实的汽缸

内压力，PR2、PC2 所表示的是，曲柄转角 CR 处的汽缸内压力传感器的输出和真实的汽缸内压力。

在此，如果判别真实的汽缸内压力 PC1 和 PC2，则可以通过  $\Delta PR = PC1 - PC2$  而求出汽缸内压力传感器的偏差  $\Delta PR$ ，通过  $K = PC2 / (PR2 + \Delta PR)$  而求出增益的偏差 K，并通过  $PC = K \cdot (PR + \Delta PR)$  而求出汽缸内压力传感器的输出为 PR 时的真实的汽缸内压力 PC。

在此，PC1 是吸气冲程下止点处的汽缸内压力，大致等于吸气压力（增压）Pm。因此，偏差  $\Delta PR$  为， $\Delta PR = Pm - PR1$ 。

此外，利用  $PC1 = Pm$ ，通过  $PC2 = Pm \cdot (\epsilon_{cr})^k$  计算出曲柄转角 CR 处的真实的汽缸内压力 PC2。在此， $\epsilon_{cr}$  是曲柄转角 CR 处的压缩比，k 是混合气体的比热比。即，增益偏差 K 的值是通过  $K = Pm \cdot \Delta PR / (\epsilon_{cr})^k / (PR2 + \Delta PR)$  而求出的。

在本实施方式中，ECU20 在实行控制操作以前，根据吸气冲程下止点和曲柄转角 CR 处的各汽缸内压力传感器输出和内燃机增压 Pm，求出上述的偏差  $\Delta PR$  和增益 K，通过以下的操作将各汽缸内压力传感器输出 PR，换算为真实的汽缸内压力 PC ( $PC = K \cdot (PR + \Delta PR)$ ) 进行使用。

#### 步骤 1205:

在步骤 1205 中，分别从曲柄转角传感器 25 和加速踏板开度传感器 21 读入内燃机转速 Ne 和加速踏板开度 Accp。Ne 和 Accp 用于设定后述的燃烧参数的目标值。另外，在本实施方式中，主燃料喷射和多点燃料喷射的燃料喷射和燃料喷射时间，是另外通过由 ECU20 所进行的未图示的燃料喷射控制操作，根据 Ne 和 Accp 计算出来的。

#### 步骤 1207:

在步骤 1207 中，根据现在的内燃机的燃料喷射模式（只有主燃料喷射，或主燃料喷射+多点燃料喷射等），选择误差值最小的燃烧参数。

5            在本实施方式中，例如计算出根据燃料喷射模式从上述的 11 个燃烧参数中所选出的燃烧参数的值。例如，当现在的燃料喷射模式只有主燃料喷射时，作为燃烧参数选择  $P_{max}$ 、 $PV_{max}$  等，例如当现在的燃料喷射模式为预喷射+主燃料喷射+残喷射的多点燃料喷射时，选择  $PV_{main} - PV_{mainbase}$ 、 $\Delta PV_{max}$ 、 $\Delta PV_{max} - \Delta PV_{after}$  等作为  
10            各燃料喷射量补正用的燃烧参数，选择  $(dP/d\theta)_{max}$ 、 $(dQ/d\theta)_{max}$  等用于各燃料喷射的燃料喷射时间的补正。

步骤 1209、步骤 1211：

              在步骤 1209 和步骤 1211 中，首先补正总燃料喷射量和主燃料喷射的喷射时间。即，在步骤 1209 中，首先根据汽缸内压力传感器输出计算出在步骤 1207 中所选择的燃烧参数（例如  $\Delta PV_{max}$ ）的大小，  
15            增减补正至该  $\Delta PV_{max}$  到与根据内燃机转速  $N_e$  和加速踏板开度  $Accp$  所决定的  $\Delta PV_{max}$  的目标值一致。

20            另外，预先通过实验等求出燃烧参数的目标值，并作为利用  $N_e$  和  $Accp$  的数值图像存储在 ECU20 的 ROM 上。

              此外，在步骤 1211 中，同样地根据汽缸内压力传感器输出检测出作为燃烧参数所选择的状况（例如产生  $(dP/d\theta)_{max}$  时的曲柄转角），  
25            补正主燃料喷射的喷射时间直到该曲柄转角与根据转速  $N_e$  和加速踏板开度  $Accp$  规定的目标值一致为止。

步骤 1213：

              步骤 1213 表示实行多点燃料喷射时的多点燃料喷射的喷射量、  
30            喷射时间的补正。在本步骤中，例如补正预喷射和/或残喷射的喷射量

和喷射时间，到  $PV_{main} - PV_{mainbase}$ 、 $\Delta PV_{max} - \Delta PV_{after}$ 、 $(dP/d\theta)_{max}$ 、 $(dP/d\theta)_{NO.3max}$  等燃烧参数分别与各自的目标值一致为止。

5 具体的补正，虽然由于与主燃料喷射相同而在此省略了详细的说明，但是在本实施方式中，首先，补正总燃料喷射量、主燃料喷射的喷射量、喷射时间等之后，接着补正多点燃料喷射（预喷射、残喷射）的喷射时间、喷射量。这是，即使进行多点燃料喷射时，由于总燃料喷射量对输出转矩影响最大，所以首先通过将总燃料喷射量补正为最佳，之后将主燃料喷射的喷射量、喷射时间补正为最佳而使内燃机的燃烧状态接近理想的状态，之后再通过补正多点燃料喷射的喷射量、喷射时间来进行燃烧状态的微调。

10 如上所述，通过图 12 所述的补正操作将各燃料喷射的喷射量和喷射时间、喷射量补正为适当的值，使内燃机的燃烧状态最佳化。

15

接着，对本发明的另一实施方式进行说明。

20 在本实施方式中，进行燃烧模式的切换的过渡时的燃料喷射控制。在本实施方式中，内燃机 1 切换以下两个燃烧模式进行运转：通常的柴油机燃烧模式，即压缩冲程后期进行燃料喷射，进行高空燃比的燃烧的燃烧模式；和低温燃烧模式，即，大幅提前燃料喷射时间而在汽缸内形成预混合气体，并且大幅增大 EGR 气体量进行低空燃比的燃烧的燃烧模式。此外，当切换燃烧模式时，利用燃烧参数进行燃料喷射的反馈控制，并且反馈控制设在内燃机吸气通路上的节气门

25 阀，调节吸入空气量，使空燃比最佳化。

30 如图 11 中所说明的那样，燃烧参数中  $(P_{mtdc} - P_{min})$  与空燃比具有良好的密切关系。在通常柴油机燃烧模式和低温燃烧模式切换时，空燃比和燃料喷射时间变化大。在此，虽然通过增减节气门阀的开度而改变 EGR 气体量来调整空燃比，但是相对于 EGR 气体量的变

化比较费时，燃料喷射时间可以在短时间内改变。因此，在本实施方式中，切换时，首先作为燃烧参数利用  $P_{max}$  修正燃料喷射量，接着利用燃烧参数 ( $P_{mtdc} - P_{min}$ ) 修正节气门阀开度，利用修正节气门阀后产生  $P_{max}$  的曲柄转角作为燃烧参数来修正燃料喷射时间。

5

这样首先修正本来变化速度慢的 EGR 气体量之后再修正喷射时间，是为了防止切换初期相对于燃料喷射时间的变化燃烧参数的变化一般变小而使灵敏度降低，和同时控制空燃比和喷射时间时产生控制发散的问题。

10

图 16 是表示燃烧模式切换控制操作的概略的流程图。本操作是通过 ECU20 实行的。

在图 16 的操作中，在步骤 1601 中，首先分别从曲柄转角传感器 25 和加速踏板开度传感器 21 读入内燃机转速  $N_e$  和加速踏板开度  $Accp$ ，在步骤 1603 中根据汽缸内压力传感器输出计算出  $P_{max}$ 。之后，在步骤 1605 中，反馈控制燃料喷射量直到根据内燃机转速  $N_e$  和加速踏板开度  $Accp$  所决定的目标值一致为止。

并且，当步骤 1605 中的燃料喷射量的反馈控制完毕之后，在步骤 1607 中根据汽缸内压力传感器输出计算出参数 ( $P_{mtdc} - P_{min}$ )，在步骤 1609 中反馈控制节气门阀开度直到 ( $P_{mtdc} - P_{min}$ ) 的值与根据内燃机转速  $N_e$  和加速踏板开度  $Accp$  所决定的目标值一致为止。

之后，当在步骤 1609 中完成节气门阀开度调整之后，在步骤 1611 中，再次判断  $P_{max}$  是否收敛于目标值，当  $P_{max}$  与目标值偏离规定量以上时，再次实行从步骤 1601 的操作。

当在步骤 1611 中  $P_{max}$  收敛于目标值时，接着进入步骤 1613，根据汽缸内压力传感器计算出产生  $P_{max}$  的曲柄转角，反馈控制燃料

30

喷射时间直到该曲柄转角与根据内燃机转速  $N_e$  和加速踏板开度  $Accp$  所决定的目标值一致。

5 通过进行图 16 中的切换控制，当燃烧模式切换等过渡运转时，也可以将内燃机燃烧状态控制为最佳。

接着，对给予燃烧参数的 EGR 气体量的控制进行详细说明。在本实施方式中，作为燃烧参数利用  $PV_{max}$ 、 $\theta_{pvmax}$ 、 $\Delta PV_{max}$  和  $\Delta t$  进行 EGR 气体量、燃料喷射量、燃料喷射时间的反馈控制。

10

图 17 表示在本实施方式中所使用的燃烧参数  $PV_{max}$ 、 $\theta_{pvmax}$ 、 $\Delta PV_{max}$  和  $\Delta t$ 。

15 图 17 中的横轴和纵轴分别表示从汽缸的压缩冲程到膨胀冲程上的曲柄转角 (CA) 和上述的 PV 值。横轴上以 TDC 表示的是压缩上止点。

20 由于 PV 值是压力和体积的乘积，所以根据气体的状态方程式  $PV = MRT$  (M: 气体的摩尔数; R: 一般气体常数 (J/mol·K); T: 温度 (°K))，得到相当于汽缸内温度的值。此外，通过实验可以确认 PV 达到最大值  $PV_{max}$  的定时 (图 17 中的  $\theta_{pvmax}$ ) 与汽缸内所喷射的燃料的燃烧结束的时间点 (严格地说，90% 的燃料燃烧完的时间点) 对应。因此，可以利用  $\theta_{pvmax}$  作为表示汽缸内的燃烧结束时间的指标。

25 在图 17 中， $\theta_{inj}$  表示从燃料喷射阀 (10a~10d，以下总称为参照标号 10) 的燃料喷射开始时间。此外，图 17 中  $\Delta t$  所表示的是以从燃料喷射开始 ( $\theta_{inj}$ ) 到燃烧结束时间 ( $\theta_{pvmax}$ ) 为止的时间 (曲柄转角) 所定义的燃烧结束时间。从燃料喷射阀 10 所喷射的燃料经过一定着火延迟时间之后开始燃烧，经过根据各种条件所决定的燃烧时间之后燃烧结束。因此，燃烧结束时间  $\Delta t (= \theta_{pvmax} - \theta_{inj})$ ，与燃

30

料的着火延迟时间和燃烧时间的总和对应。

此外，在图 17 中以虚线表示的是，在汽缸内未发生燃烧时的 PV 值的变化 (PVbase)。由于 PVbase 表示仅由活塞的上下运动产生的汽缸内的气体的压缩和膨胀，所以相对于上止点形成对称的曲线。

如上所述， $\Delta PV_{\max}$  被定义为，PV 值的最大值  $PV_{\max}$  与  $\theta_{pv\max}$  处的 PVbase 值  $PV_{\max\text{base}}$  的差值。

根据吸气冲程结束时的汽缸内压力和  $\theta_{pv\max}$  处的汽缸内容积，可以容易地计算出  $\theta_{pv\max}$  处的 PVbase 值  $PV_{\max\text{base}}$ 。但是，如上所述，PVbase 相对于压缩上止点对称。因此，在本实施方式中，虽然在检测出  $\theta_{pv\max}$  之后，利用相对于上止点对称的压缩冲程的点（图 17 中以  $\theta_{pv\max}'$  表示）上的 PVbase 的值计算出  $\Delta PV_{\max}$ ，但是实际上在燃烧前的压缩冲程中，PV 值与 PVbase 值相同。因此，在本实施方式中，实际上通过将  $\theta_{pv\max}'$  处的 PV 值作为  $\theta_{pv\max}$  处的 PVbase 进行使用，从而可以简单地计算出  $\Delta PV_{\max}$  的值。

接着，对于燃烧参数  $\Delta t$ 、 $PV_{\max}$ 、 $\theta_{pv\max}$  和  $\Delta PV_{\max}$  所具有的意义进行说明。

如上所述，作为从燃料喷射开始到  $\theta_{pv\max}$  为止的期间的燃烧结束时间  $\Delta t$ ，与所喷射的燃料的着火延迟时间和燃烧时间的总和对应。另一方面，着火延迟时间和燃烧时间，都受 EGR 率（汽缸内所吸入的气体中 EGR 气体量所占的比例）的很大影响， $\Delta t$  随着 EGR 率变大而增大。因此，燃烧结束时间  $\Delta t$  与 EGR 率具有密切联系，可以作为表示 EGR 率的指标使用。

此外，产生  $PV_{\max}$  的时间  $\theta_{pv\max}$  与燃烧的结束时间有关，与汽缸内的燃烧状态关系很大。此外，如果其他条件相同，燃烧的结束时



间根据燃料喷射时间发生变化。

另外，由于 $\Delta PV_{max}$ 的值是燃烧时和未发生燃烧时的PV值的差值（温度差值），所以与燃烧室内燃烧的燃料的量，即，燃料喷射量  
5 有关。

在本实施方式中，鉴于上述内容，利用 $\Delta t$ 、 $\theta_{pvmax}$ 和 $\Delta PV_{max}$ ，  
将EGR气体量、燃料喷射时间和燃料喷射量反馈控制为最佳值。

10 即，在本实施方式中，预先改变内燃机的运转状态（加速踏板开度和转速的组合）而使内燃机运转，找出在燃费、废气特性等方面可以得到最佳燃烧状态的燃料喷射量、燃料喷射时间、EGR率（EGR阀开度），分别将这些值作为各运转状态中的燃料喷射量、燃料喷射时间、EGR阀开度的基准值，以利用加速踏板开度和转速的2维数值图像的形式（以下，简称为“基准喷射条件图像”）存储在ECU20的  
15 ROM上。

此外，在本实施方式中，计算出在上述各运转状态中得到最佳燃烧状态时的燃烧参数 $\Delta t$ 、 $\theta_{pvmax}$ 和 $\Delta PV_{max}$ 的值，以利用加速踏板开度和转速的2维数值图像的形式（以下，简称为“目标特性值图像”）  
20 存储在ECU20的ROM上。

在实际的运转中，ECU20首先利用上述基准喷射条件图像根据内燃机转速和加速踏板开度求出燃料喷射量、燃料喷射时间、EGR阀开度，将燃料喷射量、燃料喷射时间、EGR阀开度控制为基准喷射条件图像值。  
25

之后，根据该状态下的汽缸内压力传感器29a~29d的压力，计算出各汽缸的 $\Delta t$ 、 $\theta_{pvmax}$ 和 $\Delta PV_{max}$ 的燃烧参数。并且，利用现在的加速踏板开度和转速根据上述的目标特性值图像，求出最佳燃烧状  
30

态下的燃烧参数的目标值 $\Delta t$ 、 $\theta_{pvmax}$  和 $\Delta PVmax$ ，调整由基准喷射条件图像所决定的燃料喷射量、燃料喷射时间、EGR 阀开度等，使得实际的燃烧参数与这些目标值一致。

5           具体而言，ECU20 调节 EGR 阀 35 的开度并进行反馈控制，使得实际的燃烧参数 $\Delta t$  与目标值一致，同时反馈控制燃料喷射时间和燃料喷射量，使得 $\theta_{pvmax}$  和 $\Delta PVmax$  与各自的目标值一致。

10           由此，可以控制 EGR 和燃料喷射，使得实际的燃烧状态达到最佳状态。

图 18、图 19 是用于具体说明基于上述燃烧压力特性的控制操作（燃烧参数控制操作）的流程图。分别由 ECU20 作为每隔一定时间所实行的程序进行图 18、图 19 的操作。

15

图 18 表示燃料喷射和 EGR 的基本控制操作。在图 18 的操作中，ECU20 将燃料喷射量、燃料喷射时间和 EGR 阀开度设定为，分别根据内燃机转速  $N_e$  和加速踏板开度  $Accp$  所决定的基准值，与由图 19 的操作根据燃烧参数所决定的补正量的和。

20

在图 18 中，在步骤 301 中读入加速踏板开度  $Accp$  和内燃机转速  $N_e$ ，在步骤 303 中，从预先以分别利用  $Accp$  和  $N_e$  的 2 维数值图像的形式存储在 ECU20 的 ROM 中的上述基准喷射条件图像中，利用在步骤 301 中所读入的  $Accp$  和  $N_e$ ，读出基准燃料喷射量  $FI_0$ 、基准燃料喷射时间 $\theta I_0$ 、基准 EGR 阀开度  $EGV_0$ 。

25

基准燃料喷射量、基准燃料喷射时间、基准 EGR 阀开度为，预先使内燃机实际运转所求出的、可以得到最佳的燃烧状态的燃料喷射量、燃料喷射时间、EGR 阀开度。

30

上述基准值，虽然是在实验时的环境下可以得到最佳燃烧状态的燃料喷射量、时间、EGR 阀开度，但是在实际运转时，由于存在燃料的差值异、内燃机运转环境（气温、大气压值等）的差异、和机器种类的标准离差及特性变化等，所以即使利用上述基准值运转也未必可以得到最佳的燃烧状态。

因此，在本实施方式中，将在通过上述所求出的基准值  $FI_0$ 、 $\theta I_0$ 、 $EGV_0$  上加上补正量  $\alpha$ 、 $\beta$ 、 $\gamma$  而补正的值，设定为实际的燃料喷射量、燃料喷射时间和 EGR 阀开度。即，在步骤 305 中，将实际的燃料喷射量  $FI$ 、燃料喷射时间  $\theta I$  和 EGR 阀开度  $EGV$  设定为， $FI=FI_0+\alpha$ 、 $\theta I=\theta I_0+\beta$  和  $EGV=EGV_0+\gamma$ ，在步骤 307 中，以在步骤 305 中所设定的值来进行燃料喷射和 EGR 阀开度控制。

在此， $\alpha$ 、 $\beta$ 、 $\gamma$  是通过图 19 中的操作根据燃烧参数所设定的反馈控制补正量。

对于图 19 中的操作进行说明，首先，在步骤 401 中读入加速踏板开度  $Accp$  和内燃机转速  $Ne$ 。之后，在步骤 403 中，从预先存储在 ECU20 的 ROM 上的、利用  $Accp$  和  $Ne$  的 2 维图像读入  $\theta_{pvmax}$ 、 $\Delta PVmax$ 、 $\Delta t$  的目标值  $\theta_{pvmax_0}$ 、 $\Delta PVmax_0$ 、 $\Delta t_0$ 。目标值  $\theta_{pvmax_0}$ 、 $\Delta PVmax_0$ 、 $\Delta t_0$  是在各自的加速踏板开度和转速下可得到最佳燃烧时的  $\theta_{pvmax}$ 、 $\Delta PVmax$  和  $\Delta t$  的值。

之后，在步骤 405 中，根据汽缸内压力传感器 29a~29d 的输出计算出各汽缸的  $\theta_{pvmax}$ 、 $\Delta PVmax$ 、 $\Delta t$  的燃烧参数。

之后，从步骤 407 到步骤 411 中，反馈控制补正量  $\alpha$ 、 $\beta$ 、 $\gamma$ ，使得在步骤 405 中所计算出的实际的燃烧参数的数值与在步骤 403 中由图像所求出的目标值一致。

即，在步骤 407 中，首先反馈控制燃料喷射量的补正量 $\alpha$ ，使得实际的 $\Delta PV_{max}$  的值与目标值 $\Delta PV_{max_0}$  一致；在步骤 409 中，反馈控制燃料喷射时间的补正量 $\beta$ ，使得实际的 $\theta_{pvmax}$  的值与目标值 $\theta_{pvmax_0}$  一致；之后，在步骤 411 中反馈控制 EGR 阀开度的补正量 $\gamma$ ，使得实际的 $\Delta t$  值与目标值 $\Delta t_0$  一致。从步骤 407 到步骤 411 的反馈控制，例如成为根据各自的目标值的基于实际的值的偏差值的 PID 控制。

例如，以燃料喷射时间的补正量 $\beta$ 为例，具体说明本实施方式中的 PID 控制，设实际的 $\theta_{pvmax}$  的值与目标值 $\theta_{pvmax_0}$  的偏差值为 $\delta$ ，则可以利用下式求出补正量 $\beta$ 。

$$\beta = K_1 \times \delta + K_2 \times \sum \delta + K_3 \times (\delta - \delta_{i-1})$$

在此，右边第一项  $K_1 \times \delta$  为比例项，第二项  $K_2 \times \sum \delta$  为积分项， $\sum \delta$  表示偏差值 $\delta$ 的积分运算值（积分值）。此外，第三项  $K_3 \times (\delta - \delta_{i-1})$  为微分项， $(\delta - \delta_{i-1})$  表示偏差值 $\delta$ 从上一次的变化量（微分值）（ $\delta_{i-1}$  是上一次的 $\delta$ 的值）。此外， $K_1$ 、 $K_2$ 、 $K_3$  是常数。

如上所述，通过反复进行图 18 和图 19 中的操作，可以控制实际的燃料喷射量、燃料喷射时间和 EGR 阀开度（EGR 率），使得燃烧参数与目标值一致。

这样，通过反馈控制燃料喷射量、燃料喷射时间和 EGR 率而使运转时的实际的燃烧参数与目标值一致，例如，可以容易地得到最佳的燃烧状态，而不用单独考虑内燃机的运转环境的差值异、机器的特性变化和标准离差值等。

另外，在图 18、图 19 的操作中首先将燃料喷射量、时间等控制为基准值，利用燃烧参数反馈控制相对于该基准值的补正量，从而可以在短时间内将燃料喷射量等收敛于给予最佳燃烧状态的值内。但

是，也可以利用燃烧参数反馈控制燃料喷射量、时间和 EGR 率本身，而不预先设定燃料喷射量等的基准值。

5 但是，当如图 18、图 19 所示根据 $\theta_{pvmax}$  与 $\theta_{pvmax_0}$  的偏差值 $\delta$  控制燃料喷射时间 $\theta I$  时，尤其是当在如上述的低温燃烧模式下运转时燃料喷射时间的目标值自身角度大幅度提前时，控制可能会发散。

10 例如，当实际的 $\theta_{pvmax}$  的值迟于 $\theta_{pvmax_0}$  时，为提前 $\theta_{pvmax}$  而使燃料喷射时间 $\theta I$  的角度提前。但是，当如低温燃烧时那样燃料喷射时间已被大幅度设定提前角时，如果使燃料喷射时间提前角过度，则由于燃烧不稳定易引起不点火，有时使燃料喷射时间角度提前，反而会延迟产生 $\theta_{pvmax}$ 。

15 在这种情况下，利用 $\theta_{pvmax}$  控制燃料喷射时间时，燃料喷射时间进一步提前，不仅控制发散，还存在以下问题：例如当因过度的燃料喷射提前角，在汽缸内活塞还未充分上升的位置上进行燃料喷射，所喷射的燃料从活塞上所形成的凹部（凹腔）内向外溢出，或导致所喷射的燃料直接碰触汽缸壁（内壁冲洗），液状燃料附着在汽缸壁上而导致润滑油的稀释与燃费和排气特性的恶化。

20

尤其是，当如图 19 步骤 411 所示同时利用 $\Delta t$  控制 EGR 气体量时，由于燃料喷射时间角度过度提前时， $\Delta t$  值也过大，EGR 气体量大幅降低，导致燃料喷射时间的变化与 EGR 气体量的增减相互影响而使控制不稳定。

25

因此，在本实施方式中，相对于在图 18 的步骤 305 中所计算出的燃料喷射时间 $\theta I$  设置提前角警戒值 $\theta I_{max}$ ，防止燃料喷射时间提前 $\theta I_{max}$  以上。

30

具体而言，在图 18 的步骤 305 中，通过 $\theta I = \theta I_0 + \beta$  计算出燃料喷

射时间 $\theta_I$ 时, 则 ECU20 比较所计算出的 $\theta_I$ 和提前角警戒值 $\theta_{I\max}$ , 当  
设定提前角 $\theta_I$ 在 $\theta_{I\max}$ 以上 ( $\theta_I \geq \theta_{I\max}$ ) 时, 代替所计算出的 $\theta_I$ ,  
利用 $\theta_{I\max}$ 在步骤 307 中实行燃料喷射控制。即, 只有当在步骤 305  
中所计算出的 $\theta_I$ 的值与提前角警戒值 $\theta_{I\max}$ 相比位于延迟角一侧 ( $\theta_I$   
5  $\leq \theta_{I\max}$ ) 时才在步骤 307 中使用。

由此, 由于在利用燃烧参数 $\theta_{pv\max}$ 的燃料喷射时间的反馈控制  
中防止过度的提前角, 所以可以防止因内壁冲洗引起的润滑油的稀释  
和燃费、排气特性的恶化, 同时防止因过度提前角引起的燃料喷射时  
10 间控制的发散和与利用 $\Delta t$ 的 EGR 气体量的反馈控制的干涉, 可以在  
短时间内使燃料喷射时间和 EGR 气体量收敛于目标值。

另外, 燃料喷射时间的提前角警戒值 $\theta_{I\max}$ , 是由燃料喷射阀所  
喷射的燃料既不从活塞的凹腔内向外溢出, 也不附着在壁面上的时  
15 间, 成为根据内燃机转速和燃料喷射压力等喷射条件所决定的值。由  
于该值根据活塞形状和燃料喷射阀的配置、内燃机转速、喷射压力等  
各种条件而不同, 所以优选根据利用实际的内燃机的实验, 在每个转  
速(燃烧压力)上预先制成数值图像。

20 下面, 对本发明的另一实施方式进行说明。

在本实施方式中, 内燃机 1 在以下两个燃烧模式中进行切换、运  
转: 通常的柴油机燃烧模式, 即压缩冲程后期进行燃料喷射, 进行高  
空燃比的扩散燃烧的燃烧模式; 和低温燃烧模式, 即, 使燃料喷射时  
25 间大幅度提前而在汽缸内形成预混合气体, 并且大幅度增大 EGR 气  
体量而进行低空燃比的燃烧的燃烧模式。在低温燃烧中, 虽然是空燃  
比比较低的燃烧, 但是由于将大量的 EGR 气体供应给燃烧室, 所以  
可以大幅度一致  $\text{NO}_x$  等有害物质的生成, 另外, 虽然是柴油机, 但是  
可以通过进行预混合燃烧, 而大幅度抑制煤烟的产生量。

30

但是，在低温燃烧模式下的运转中，燃烧状态的变化相对于 EGR 率的变化的灵敏度极大，EGR 率稍微变化就会产生导致燃烧状态大幅恶化。

5           因此，在本实施方式中，当内燃机在低温燃烧模式下运转时，根据燃烧参数反馈控制 EGR 率（EGR 阀开度）。

10           图 20 是用于说明基于本实施方式的燃烧参数的 EGR 率控制操作的流程图。本操作是通过 ECU20 作为每隔一定时间所实行的程序而进行的。

15           在图 20 的操作中，首先在步骤 501 中判断现在的内燃机是否在低温燃烧模式下运转，当未在低温燃烧模式下运转时直接终止本操作，而不实行步骤 503 以下的步骤。在这种情况下，例如通过与以往相同的基于加速踏板开度和内燃机转速的开环控制来控制 EGR 率。

20           在步骤 501 中，当内燃机在现在的低温燃烧模式下运转时，接着进入步骤 503，分别由各自对应的传感器读入现在的加速踏板开度  $Accp$  和内燃机转速  $Ne$ ，在步骤 505 中，由预先易  $Accp$  和  $Ne$  的 2 维数值图像的形式存储在 ECU20 的 ROM 上的燃烧结束时间  $\Delta t$  的目标值图像中，读出现在的  $Accp$  和  $Ne$  上的  $\Delta t$  的目标值  $\Delta t_0$ 。

25           在此， $\Delta t_0$  是在低温燃烧模式中可以得到最佳燃烧状态的 EGR 率供应 EGR 气体时的燃烧结束时间。

30           接着，在步骤 507 中，根据由汽缸内压力传感器 29a~29d 的输出计算出实际的燃烧结束时间  $\Delta t$ 。之后，在步骤 509 中，反馈控制 EGR 阀开度，使得实际的燃烧结束时间  $\Delta t$  与目标值  $\Delta t_0$  一致。该反馈控制，与图 19 的情形相同地，例如进行基于目标值  $\Delta t_0$  和实际值  $\Delta t$  的偏差值的 PID 控制。

另外，在本实施方式中，燃料喷射量和燃料喷射时间，另外通过由 ECU20 所实行的程序，预先将低温燃烧模式下的运转设定为最佳值。

5

如图 20 所示，尤其是当在对 EGR 率敏感的低温燃烧模式下运转时，根据燃烧参数 $\Delta t$ 控制内燃机的 EGR 率，从而在低温燃烧时也可以得到稳定的最佳燃烧状态。

10

但是，如上所述，虽然过渡到低温燃烧模式后，可以通过基于 $\Delta t$ 的控制得到最佳的 EGR 率，但是，当由通常燃烧模式过渡到低温燃烧模式时，如果通过基于 $\Delta t$ 的反馈控制来调节 EGR 气体量，则有时需要较长时间才可以收敛于移动到低温燃烧模式后的 EGR 率的目标值。

15

如上所述，在低温燃烧模式下，与通常燃烧模式相比，燃料喷射时间大幅度提前。但是，当向低温燃烧模式过渡时，如果一下子使燃料喷射时间提前，则由于燃烧状态的急剧变化而使内燃机输出转矩发生变动，即产生所谓的转矩冲击的问题。因此，当由通常燃烧模式向低温燃烧模式过渡时，进行设置一定的过渡期间，并在该过渡期间（时间）内使燃料喷射时间从通常燃烧模式下的值比较缓慢地连续变化到低温燃烧模式下的目标值的过渡处理（退火处理）。

25

因此，在过渡处理中，由于用于计算 $\Delta t$ 的燃料喷射时间（图 17 中的 $\theta_{inj}$ ）缓慢变化（提前），产生 PVmax 的时间（图 17 中的 $\theta_{pvmax}$ ）也随着缓慢变化（提前），所以开始切换时， $\Delta t$  的值不会从切换前的值发生太大变化，而成为较小的值。

30

因此，切换为低温燃烧模式后的 $\Delta t$ 的目标值 $\Delta t_0$ 与实际的 $\Delta t$ 的差值，与切换前相比不会太大，EGR 阀的开度变化也较小。即，EGR



阀的开度随着燃料喷射时间的提前角而缓慢变化。由于实际的 EGR 气体量的变化迟于 EGR 阀开度的变化，所以切换时 EGR 阀的开度变化小，则实际的 EGR 气体量的变化也十分迟缓。

5 另一方面，虽然在低温燃烧模式下与通常燃烧模式相比，必须大幅度增加 EGR 气体量，但是如上所述在过渡期间内根据实际的 $\Delta t$ 而逐渐改变 EGR 阀的开度时，由于 EGR 气体量变化的延迟，有时当低温燃烧模式过渡结束时（燃料喷射时间达到目标值时）EGR 率仍未达到低温燃烧模式下的目标值，需要长时间才收敛于目标值。

10

因此，在本实施方式中，在过渡期间内计算 $\Delta t$ 时不使用实际的燃料喷射时间，而使用向低温燃烧过渡结束后的目标燃料喷射时间。由此，与在过渡期间开始时利用实际的燃料喷射时间的情形相比， $\Delta t$ 的值大幅度变大，与过渡结束后的 $\Delta t$ 目标值的偏差值也变大。在本实施方式中，由于根据 $\Delta t$ 和 $\Delta t$ 目标值的偏差值反馈控制 EGR 阀开度，而使 EGR 阀开度变化大。

15

图 21 是用于说明本实施方式中的从通常燃烧模式向低温燃烧模式切换的过渡期间内的 $\Delta t$ 变化的图。

20

在图 21 中，曲线 $\theta_{inj}$ 和曲线 $\theta_{pvmax}$ 分别表示燃料喷射时间的变化和产生 PVmax 的时间的变化，实际的 $\Delta t$ （实际 $\Delta t$ ）等于该两条曲线的距离（参见图 21）。

25

在图 21 中，当从通常燃烧模式的切换的过渡期间开始时，燃料喷射时间 $\theta_{inj}$ 连续提前，过渡期间终止时，达到低温燃烧模式中的目标喷射时间。

30

在这种情况下，由于如图 21 所示 $\theta_{inj}$ 开始过渡时也变化不大，所以利用实际的燃料喷射时间的 $\Delta t$ （实际 $\Delta t$ ）从过渡期间开始时不

会去过大的值，EGR 阀的开度也不会变化太大。因此，EGR 气体量变化十分迟缓， $\theta_{pvmax}$  的变化也如图 21 中的实线所示变得十分迟缓。因此， $\theta_{pvmax}$  的值为，即使燃料喷射时间的切换结束时也未达到低温燃烧中的目标值，因此，到 $\theta_{pvmax}$  达到目标值为止（即，EGR 率达到目标值为止）如图 21 所示产生的延迟时间。

相对于此，代替实际的燃料喷射时间使用低温燃烧模式切换后的燃料喷射时间目标值所算出的 $\Delta t$ ，如图 21 所示与实际 $\Delta t$  相比达到较大的值。因此，在本实施方式中，由于 EGR 阀开度变化大，EGR 气体量变化（增大）速度也加快，所以 $\theta_{pvmax}$  如图 21 所示发生变化，可以防止产生利用实际 $\Delta t$  时的延迟时间。

由此，在本实施方式中，当由通常燃烧模式向低温燃烧模式切换时，可以在短时间内使 EGR 率收敛于目标值。

15

接着，利用图 22 对与上述相反的从低温燃烧模式向通常燃烧模式切换时的控制进行说明。

例如，考虑仅在低温燃烧模式运转中进行利用燃烧参数的燃料喷射量、燃料喷射时间、EGR 率等的控制，在通常燃烧模式时进行现有的开环控制的情形。

20

在这种情况下，低温燃烧模式运转时，根据燃烧参数（ $\Delta t$ 、 $\theta_{pvmax}$ 、 $\Delta P Vmax$  等）反馈控制燃料喷射量、燃料喷射时间、EGR 气体量等，实际的燃料喷射量、燃料喷射时间、EGR 气体量等包括反馈补正量。

25

例如，以燃料喷射时间为例进行说明，如在图 18 的步骤 305 中所说明的那样，低温燃烧中的实际的燃料喷射时间为，在目标值 $\theta I_0$  上加上反馈补正量 $\beta$ 的量。

30

通常，如图 22 所示，当由低温燃烧模式向通常燃烧模式切换时也如图 21 中所说明的那样设置过渡期间，在过渡期间内使燃料喷射时间的目标值从低温燃烧模式时的值连续变化为通常燃烧模式时的目标值。

但是，如上所述低温燃烧模式下的实际的燃料喷射时间包括反馈补正量 $\beta$ ，通常燃烧模式下的燃料喷射时间是不包括反馈补正量 $\beta$ 的目标燃料喷射时间（开环控制）。因此，存在在哪个时间点停止反馈控制而使反馈补正量 $\beta$ 为 0 的问题。例如，随着过渡期间开始立即停止反馈控制时，则燃料喷射时间与过渡期间开始同时急剧变化反馈补正量 $\beta$ 左右，从而可能会因燃料喷射时间的急剧变化导致转矩变动。这与在过渡期间内也继续进行反馈控制，随着过渡结束停止反馈控制的情形一样。

因此，在本实施方式中，如图 22 所示，虽然反馈控制与过渡期间开始同时停止，但是逐渐连续地减少反馈补正量，使得过渡期间开始时的反馈控制补正量 $\beta$ 不立即为 0，而是过渡期间终止时变成 0。

在图 22 中，虚线表示燃料喷射时间的目标值 $\theta_{I_0}$ ，实线表示实际的燃料喷射时间 $\theta_I$ 。如图所示，在低温燃烧运转时，进行基于燃烧参数 $\theta_{pvmax}$ 的反馈控制，在目标值 $\theta_{I_0}$ 和实际的燃料喷射时间 $\theta_I$ 之间产生反馈补正量 $\beta$ 左右的差值。

当过渡期间开始时，在本实施方式中虽然反馈控制立即停止，但是在过渡开始时实际的燃料喷射时间 $\theta_I$ 维持为含有过渡期间开始时的反馈控制补正量 $\beta$ 的值。因此，在本实施方式中，可以防止因过渡期间开始时的反馈控制停止所引起的燃料喷射时间的急剧变化。

之后，如图 22 所示，在过渡期间内 $\beta$ 的值连续降低，使得过渡期

间终止时变成 0（例如，使 $\beta$ 的值与过渡期间开始后所经过的时间成比例地减少）。由此，在过渡期间内实际的燃料喷射时间 $\theta I$  逐渐接近目标燃料喷射时间 $\theta I_0$ ，当过渡期间终止时，与 $\theta I_0$  一致。由此，在本实施方式中，可以从低温燃烧模式中的燃料喷射时间的反馈控制过渡到通常燃烧模式下的开环控制，而不会引起转矩变动。

另外，图 22 虽然以燃料喷射时间为例进行了说明，但是当然也可以对燃料喷射量或 EGR 气体量进行同样的过渡控制。

接着，对上述的利用燃烧参数的 EGR 控制的另一应用例进行说明。在上述各实施方式中，可以利用燃烧参数 $\Delta t$  准确控制 EGR 率，低温燃烧时也可以在燃烧时得到最佳的 EGR 率。

例如，当流入内燃机排气通路的排气的空燃比稀薄时，吸收、吸附或以该两种方式吸藏排气中的  $\text{NO}_x$ ，当流入的排气的空燃比浓时，设置利用排气中的 CO 等还原成分和 HC 等来还原净化所吸藏的  $\text{NO}_x$  的公知的  $\text{NO}_x$  吸藏还原催化剂而进行净化时等，还原净化上述  $\text{NO}_x$  吸藏还原催化剂所吸藏的  $\text{NO}_x$  时等，必须准确控制排气空燃比（内燃机空燃比）。但是，在上述的控制中，虽然可以响应性良好地得到最佳 EGR 率，但是未必可以准确控制内燃机的燃烧空燃比（排气空燃比）。

例如，当燃料喷射阀的喷射特性因内部机构的磨损等而发生变化时，或存在喷射特性的每个产品的标准离差值时等，即使将燃烧参数控制为目标值，也未必能得到目标空燃比。

另一方面，为了将排气空燃比控制为目标空燃比，在排气通路上配置空燃比传感器，直接测量排气空燃比，从而可以反馈控制 EGR 控制阀，使得排气空燃比达到目标值。

但是，由于利用空燃比传感器的 EGR 控制存在废气达到传感器

安装位置的气体输送延迟，和传感器自身的响应延迟，所以当过渡运转时等内燃机运转条件发生变化时，未必可以高精度地控制 EGR 气体量。

5                   因此，在本实施方式中，在利用燃烧参数的 EGR 反馈控制上，通过进一步组合基于传感器输出的反馈学习控制，包括过渡运转时可以响应性良好地控制 EGR 气体量，高精度地控制排气空燃比。

10                   即，在本实施方式中，例如，在通过图 20 的反馈控制将  $\Delta t$  控制为与目标值一致的状态下，当满足规定的学习控制条件（例如，内燃机在稳定状态下运转）时，逐渐改变燃烧结束期间目标值  $\Delta t_0$ ，使得通过配置在排气通路上的空燃比传感器所检测出的排气空燃比，与根据加速踏板开度  $Accp$ 、内燃机转速  $Ne$  所决定的目标空燃比一致。

15                   例如，当实际的排气空燃比与目标空燃比相比位于浓厚的一侧时，使目标值  $\Delta t_0$  减少规定量  $gt$ ；当与目标空燃比相比位于稀薄的一侧时，使目标值  $\Delta t_0$  增大规定量  $gt$ 。

20                   之后，利用增减后的目标值  $\Delta t_0$  再次进行基于  $\Delta t$  的 EGR 气体量控制，调整 EGR 气体量使得实际的  $\Delta t$  与增减后的目标值  $\Delta t_0$  一致，实际  $\Delta t$  与补正后的目标值  $\Delta t_0$  一致时，再次判断通过空燃比传感器所检测出的排气空燃比和目标空燃比是否一致，当不一致时再次使目标值  $\Delta t_0$  增减规定值  $gt$ ，反复进行上述的操作。

25                   之后，进行将排气空燃比和  $\Delta t$  都与目标值一致时的目标值  $\Delta t_0$ ，作为其加速踏板开度  $Accp$  和内燃机转速  $Ne$  上的新的目标值（学习值）存储起来的操作。这样，根据实际的空燃比传感器输出，进行燃烧参数  $\Delta t_0$  的学习补正，从而可以响应性良好地控制 EGR 率，并准确控制排气空燃比。

30

接着，对本发明的另一实施方式进行说明。

在上述的各实施方式中，计算出 PV 值，作为燃烧参数利用根据 PVmax 所求出的  $\Delta t$  来控制 EGR 气体量。但是，作为适于 EGR 气体量的控制的燃烧参数，除了 PVmax 或  $\Delta t$  以外，只要是与着火延迟期间和燃烧期间中的一个或两个具有密切联系的值，就可以同样使用。

例如，在本实施方式中，作为与着火延迟期间和燃烧期间具有密切联系的燃烧参数，使用  $PV^k$  的值达到最小值  $PV^{kmin}$  的时间  $\Delta t_d$ ，和从  $PV^k$  的值达到最小值  $PV^{kmin}$  到达到最大值  $PV^{kmax}$  的时间  $\Delta t_c$ 。

在此， $PV^k$  是各曲柄转角处的燃烧室内压力 P 和该曲柄转角处的燃烧室容积 V 的 k 次方的乘积。此外，k 是混合气体的比热比。

在此，虽然根据气体的状态方程式，在绝热变化中  $PV^k = \text{一定}$ ，但是在实际的汽缸内压缩冲程中，由于混合气体通过汽缸壁和活塞放热，所以在汽缸内压缩冲程中， $PV^k$  从压缩时开始逐渐减少。

另一方面，当混合气体着火开始燃烧时，由于产生燃烧热，所以  $PV^k$  的值开始增加。因此， $PV^k$  从减少转变为增加的点，即， $PV^k$  的值成为最小值  $PV^{kmin}$  的点，是燃烧的开始点。此外，同样地虽然燃烧过程中  $PV^k$  地值持续增加，但是当燃烧结束而不再产生热量时， $PV^k$  的值再次开始减少。因此， $PV^k$  的值成为最大值  $PV^{kmax}$  的点，是燃烧的终止点。

现在，设燃料喷射开始时间为  $\theta_{inj}$ ，设  $PV^k$  达到最小值  $PV^{kmin}$  的曲柄转角为  $\theta_{start}$ ，则  $\Delta t_d = \theta_{start} - \theta_{inj}$ ，等于从开始喷射燃料到开始燃烧为止的期间的着火延迟期间。

此外，设  $PV^k$  达到最大值  $PV^{kmax}$  的曲柄转角为  $\theta_{end}$ ，则  $\Delta t_c = \theta_{end}$

— $\theta_{start}$  等于燃烧开始到终止的期间，即燃烧期间。

5 如上所述，着火延迟期间和燃烧期间都与 EGR 率具有密切的联系，EGR 率增大时，着火延迟期间和燃烧期间同时增加；EGR 率减少时同时减少。

因此，在本实施方式中，利用着火延迟期间 $\Delta td$  或燃烧期间 $\Delta tc$  的任意之一，以利用所述的 $\Delta t$  时相同的方法来控制 EGR 率。

10 即，在本实施方式中，预先在各个加速踏板开度  $Accp$  和内燃机转速  $Ne$  上将达到最佳的 EGR 率的燃烧状态下的着火延迟期间（或燃烧期间）的值设定为目标值 $\Delta td_0$ （或 $\Delta tc_0$ ）。之后，在实际的运转中，在各个冲程循环上根据燃烧室内压力和曲柄转角计算出  $PV^k$  的值，并且检测出该  $PV^k$  的值达到最小值（或最小值和最大值）的曲柄转角，  
15 计算出实际运转时的 $\Delta td$ （或 $\Delta tc$ ）。

之后， $\Delta td$ （或 $\Delta tc$ ）与现在的运转状态（ $Accp$ 、 $Ne$ ）下的该目标值 $\Delta td_0$ （或 $\Delta tc_0$ ）的偏差值，反馈控制 EGR 控制阀开度。

20 另外，比热比  $k$  可以近似与规定值，燃烧室内容积  $V$  为曲柄转角的函数，可以预先计算出来。因此，当算出  $PV^k$  时，预先计算出各个曲柄转角的  $V^k$  的值，并以数值表的形式存储在 ECU20 的 ROM 中，从而可以容易地计算出  $PV^k$  的值。

25 由此，与利用 $\Delta t$  的反馈控制的情形相同地，不会增大控制回路地运算负荷，并且可以响应性良好地准确控制 EGR 率。

即，在本实施方式中，根据由汽缸内压力传感器所检测出的燃烧室内压力计算出与包括着火延迟期间或燃烧期间中的至少其一的燃烧  
30 定时对应的燃烧参数，控制 EGR 率，使得该燃烧参数成为预先设定

的目标值，从而可以响应性良好地准确控制 EGR 率。

另外，进行在主燃料喷射之前喷射少量的燃料并使其在燃烧室内燃烧，从而当在主燃料喷射燃料的燃烧中调整良好的温度压力条件的  
5 预喷射时，如果在开始主燃料喷射后进行对所计算出的  $PV^k$  的值是否为最小值  $PV^{kmin}$  的判断，则可以防止将引导燃料喷射燃料的燃烧开始时间点作为主燃料喷射燃料的喷射开始点误检出来。

接着，对本发明的另一实施方式进行说明。

10

在本实施方式中，对进行多点燃料喷射时的燃料喷射量、喷射时间的控制进行详细说明。

如上所述，虽然多点燃料喷射包括在主燃料喷射之前所进行的预  
15 喷射、在主燃料喷射之后所进行的残喷射等，但是预喷射、残喷射也可以根据其喷射时间而分为几个。

图 23 是用于说明本实施方式中的用于构成多点燃料喷射的各燃料喷射的图。

20

在图 23 中，横轴表示曲柄转角 (CA)，横轴上的 TDC 表示压缩上止点。此外，图 23 的纵轴表示各燃料喷射的喷射率，各峰的面积概略性地表示各燃料喷射的相对的燃料喷射量。如图所示，在多点燃料喷射中，进行提前预喷射、接近预喷射、主喷射（主燃料喷射）、  
25 残喷射、后喷射等的全部或一部分。

下面，分别对主喷射以外的各燃料喷射进行简单说明。

### (1) 提前预喷射

30

提前预喷射，是在比主喷射提前很多的时间（例如，比开始主



喷射早曲柄转角为 20 度 (20°CA) 以上的时间) 所进行的预喷射。在提前预喷射中所喷射的燃料形成预混合气体, 由于压缩着火而基本不生成  $\text{NO}_x$  和微粒, 可以通过进行提前预喷射来提高排气特性。此外, 提前预喷射, 由于使燃烧室内的温度和压力上升, 缩短后述的接近预喷射和主喷射的着火延迟期间, 所以可以抑制通过主喷射所产生的燃烧的噪音和  $\text{NO}_x$  的生成。

由于在燃烧室内的温度压力比较低的时间点进行提前预喷射, 所以当喷射量多时, 所喷射的燃料维持液状的状态到达汽缸壁, 而导致润滑油稀释等问题。因此, 当喷射量多时, 将提前预喷射所必须的喷射量分割, 多次喷射, 每次喷射少量, 从而可以防止液状燃料到达汽缸壁。

### (2) 接近预喷射

接近预喷射, 是在主喷射之前 (例如, 在开始主喷射的 20°CA 以内) 所进行的预喷射。接近预喷射, 与提前预喷射相比, 产生的烃少, 与提前预喷射相同地, 可以缩短主喷射的着火延迟时间, 抑制主喷射的噪音和  $\text{NO}_x$  的生成。

### (3) 残喷射

残喷射, 是主喷射终止后立即或在较短的时间间隔 (例如, 主喷射终止后 15°以内) 内开始的喷射。

进行参喷射的目的在于, 在主喷射的燃料的燃烧后期, 再次增加燃烧室内的温度、压力、湍流等, 改善燃烧, 和减少主喷射的喷射量。

即, 由于在主喷射的燃烧后期, 燃烧室内的温度、压力下降, 缸内的湍流变小, 所以燃料难以燃烧。通过在该状态下进行残喷射, 由于因燃料的喷射所引起的湍流的增大和因所喷射的燃料的燃烧所引起的温度、压力的增大, 可以向促进燃烧的方向改善燃烧室内的氛围。

此外，由于可以将主喷射的喷射量减少残喷射的喷射量左右，所以可以抑制生成因主喷射燃料所产生的局部的过浓区域，并且具有随着主喷射量的下降燃烧所产生的汽缸内最高温度下降，抑制生成  $\text{NO}_x$  的效果。

5

#### (4) 后喷射

后喷射，是主喷射终止后以较大间隔（例如，主喷射终止后  $15^\circ\text{CA}$  以上）开始的燃料喷射。后喷射的主要目的在于提高排气温度、压力。

10

例如，当由于配置在排气系统上的排气净化催化剂的温度低而未达到活化温度，所以不能得到废气净化作用时，通过进行后喷射可以使排气温度上升，从而在短时间内使催化剂温度上升到活化温度。此外，由于通过进行后喷射而使排气的温度、压力上升，所以在具有涡轮增压器的内燃机中，可以增大涡轮的运转，从而得到因增压上升所引起的加速性能的提高和抑制加速时的烟雾等的效果。

15

此外，当作为排气净化催化剂，使用利用 HC 成分来净化排气中的  $\text{NO}_x$  的选择还原催化剂时，可以通过进行后喷射将 HC 供应给催化剂，从而提高  $\text{NO}_x$  的净化率。

20

如上所述，虽然可以通过进行多点燃料喷射，大幅度改善柴油机的排气性能和噪音，但是为了得到该改善效果，必须精密控制多点燃料喷射时的各燃料喷射的喷射量和喷射时间。例如，在最需要喷射量和喷射时间的精度的接近预喷射中，必须将一次燃料喷射的喷射量控制在  $1.5\sim 2.5\text{mm}^3$ ，将喷射时间控制在  $\pm 2^\circ\text{CA}$  以内。

25

但是，如上所述，由于在燃料喷射阀上产生因公差值所引起的个体间的标准离差值，和因使用时间所引起的燃料喷射特性的变化等，所以在通常的开环控制中通常无法提高燃料喷射的精度，无法充分得到通过多点燃料喷射所产生的效果。

30

此外，例如，如上述的特开 2001-123871 号公报的装置那样根据燃烧噪音控制燃料喷射，虽然可以控制一部分的预喷射的喷射量，但是存在无法个别控制各燃料喷射的喷射量，进而无法进一步对喷射时间进行完全控制的问题。

在本实施方式中，利用由汽缸内传感器 29a~29d（以下总称为“汽缸内压力传感器 29”）所检测出的燃烧室内压力 P 和这时的燃烧室容积 V 所计算出的参数  $PV^{\gamma}$  和 PV，可以准确地个别控制各燃料喷射的喷射量、喷射时间、喷射压力等。

图 24（A）是用于说明本实施方式中的燃烧时间的检测原理的图。图 24（A）表示从汽缸的压缩冲程后期到膨胀冲程前期关于上述燃烧室内的各种燃烧的参数相对于曲柄转角  $\theta$  的变化（曲柄转角  $\theta=0$  表示压缩上止点）。在图 24（A）中，曲线 P 表示由汽缸内压力传感器 29 所检测出的实际的燃烧室内压力的变化。此外，曲线 Q 表示汽缸内的放热率。根据曲线 Q 进行判断，在本实施方式中，进行除了主喷射之外还包括提前预喷射和残喷射的多点燃料喷射，图 24（A）中的放热率的峰 Q1、Q2、Q3 分别相当于提前预喷射、主喷射、残喷射。

根据图 24（A）的曲线 P 进行判断，虽然可以根据放热率 Q1、Q2、Q3 判断多点燃料喷射时的各燃料喷射的燃烧期间，但是燃烧室内压力的变化中未明确出现各燃料喷射的燃烧期间，所以无法根据曲线 P 判断各燃料喷射。

另一方面，如果计算出放热率，则可以如图 24（A）所示，大致判断各燃料喷射的喷射期间。此外，放热率  $dQ$  本身也可以根据燃烧室内压力从以下的计算式中计算出来。

$$dQ/d\theta = (k \cdot P \cdot (dV/d\theta) + V (dP/d\theta)) / (k - 1)$$

( $\theta$ 表示曲柄转角,  $k$ 表示汽缸内混合气体的比热比)

但是, 由于该放热率的计算复杂, 并且含有多项包括曲柄转角 $\theta$ 的项, 所以易受到检测精度较低的曲柄转角的误差值的影响。因此, 在实际的控制中将放热率作为控制指标使用, 因存在计算负荷的增大和误差值的问题而不实际。

因此, 在本实施方式中, 为了检测出燃烧期间不利用放热率, 而利用由汽缸内压力传感器 29 所检测出的压力  $P$  和这时的体积  $V$  的 $\gamma$ 次方所得出的值  $PV^\gamma$ 的相对于曲柄转角 $\theta$ 的一次变化率(一次微分值)(以下称作  $PV^\gamma$ 微分值)。在此,  $\gamma$ 是多变指数。

由于多变指数 $\gamma$ 可以预先通过实验等求出, 并且  $V$  只是关于 $\theta$ 的函数, 所以可以相对于各 $\theta$ 的值预先计算出  $V^\gamma$ 。因此, 在各曲柄转角上, 可以通过简单的计算来算出  $PV^\gamma$ , 作为相对于该 $\theta$ 的变化率的  $PV^\gamma$ 微分值, 可以如后所述通过简单的微分计算而求出。

图 24 (A) 中的曲线 R 表示在各曲柄转角处所计算出的  $PV^\gamma$ 微分值。由于  $PV^\gamma$ 微分值与放热率模型为相似形, 所以如曲线 R 所示,  $PV^\gamma$ 微分值大部分为 0, 只有相当于燃烧期间的部分为正值, 所以可以极其明确地判断各燃料喷射的燃烧期间。

通过指数 $\gamma$ 的多变性变化近似计算汽缸内的活塞的移动所进行的压缩时, 压力  $P$  和燃烧室容积  $V$  具有  $PV^\gamma=C$  (一定值) 的关系。即, 在不发生燃烧、不付与汽缸内的气体除压缩做功以外的能量的多变性变化中,  $PV^\gamma$ 值通常一定。因此, 当在燃烧室内未发生燃烧时,  $PV^\gamma$ 值的对曲柄转角的一次微分值  $d(PV^\gamma)/d\theta$ 为 0 (实际上, 由于从汽缸壁放热, 所以当未发生燃烧时, 一次微分值  $d(PV^\gamma)/d\theta$ 为负)。

另一方面, 当在汽缸内发生燃烧时, 除了压缩做功以外, 还对汽

缸内的气体施加能量（热），所以汽缸内的气体的变化已经不是多变性变化，由于当进行燃烧时  $PV^{\gamma}$  值持续增大，所以  $PV^{\gamma}$  微分值成为正值。

5 因此，可以作为  $PV^{\gamma}$  微分值为正的期间而明确判断出在燃烧室内发生燃烧的期间。这与如图 24（A）曲线 R 所示，在汽缸的一冲程循环中进行多次燃料喷射（燃烧）Q1、Q2、Q3 的情形相同。

10 在本实施方式中，根据在内燃机运转时由汽缸内压力传感器 29 所检测出的各汽缸的燃烧室内压力计算出  $PV^{\gamma}$  微分值，判定该  $PV^{\gamma}$  微分值为正值的期间为燃烧期间。图 24（A）的曲线 R 上的 start 表示燃烧开始时间，end 表示燃烧终止时间，start 和 end 的间隔表示燃烧期间。

15 但是，燃烧期间的开始时间（曲柄转角）与燃料喷射时间具有很密切的联系。另外，燃烧期间的长度（从燃烧开始时间到终止时间的长度）与燃料喷射期间有很密切的联系。此外，如果燃料喷射量一定，则燃料喷射期间根据喷射率发生变化，喷射率根据燃料喷射压力发生变化。

20 在本实施方式中，在每个内燃机的运转条件（例如，内燃机转速、加速踏板开度以及多点燃料喷射的种类的组合）下预先通过实验等求出给予最佳燃烧状态的各燃料喷射的发热量、燃烧期间，例如，在多点燃料喷射的各个燃料喷射（提前预喷射、接近预喷射、主喷射、残喷射、后喷射）中，分别将上述最佳值作为利用内燃机转速和加速踏板开度的数值表，存储在 ECU20 的 ROM 中。

25

30 ECU20，根据由汽缸内压力传感器 29 所检测出的各汽缸的燃烧室内压力 P 计算出各曲柄转角上的  $PV^{\gamma}$  微分值，判断各喷射的实际的燃烧期间，并且反馈控制燃料喷射时间和喷射压力，使得该实际的燃烧期间（开始时间，长度）与存储在 ROM 上的最适于现在的内燃机运转状态的燃烧期间。由此，可以简单并准确地将各汽缸的燃料喷射时

间和喷射压力控制为可以得到最佳燃烧时间的值。

接着，利用图 24 (B) 对本实施方式中的燃料喷射量的控制进行说明。

5

各汽缸的实际的燃料喷射量，与从汽缸的压缩冲程到膨胀冲程的汽缸内的发热量对应。虽然可以通过对利用上述的式子所计算出的放热率进行积分而计算出该发热量，但是如上所述利用放热率  $dQ$  的计算并不实际。

10

因此，在本实施方式中，利用燃烧室内压力  $P$  和这时的燃烧室内容积  $V$  的乘积  $PV$  (以下称作“ $PV$  值”) 计算出实际的汽缸内发热量。

15

以压力和容积的乘积  $PV$  表示燃烧室内的气体所具有的能量。因此，以  $d(PV)/d\theta$  表示每单位曲柄转角付与燃烧室内的气体的能量。

如上所述，每单位曲柄转角付与燃烧室内的气体的能量为，由活塞的压缩所产生的机械能和由燃烧所产生的化学能的和。

20

现在，以微分形式表示气体的状态方程式  $PV = (m/W)RT$  得出：  

$$d(PV) = (m/W)RdT \cdots (1)$$

其中， $m$  是燃烧室内的气体的质量 (kg)， $W$  是气体的分子量， $T$  是温度 (K)， $R$  是一般气体常数 (J/mol·K)

25

此外，(1) 式表示气体所具有的能量变化量，该变化量，如上所述，表示为由活塞的压缩所产生的机械能  $d(PV)_{\text{pist}}$  和由燃烧所产生的化学能  $d(PV)_{\text{chem}}$  的和。即，

$$d(PV) = d(PV)_{\text{pist}} + d(PV)_{\text{chem}} \cdots (2)$$

30

在上述 (2) 式中，利用上述 (1) 式的气体的状态方程式，如下

表示由燃烧所付与气体的能量  $d(PV)_{chem}$ 。

$$d(PV)_{chem} = (m/W) R dT_{chem} \quad \cdots (3)$$

其中， $dT_{chem}$  表示由燃烧引起的气体的温度上升。

5 将 (3) 式代入 (2) 式求出  $dT_{chem}$ ,

$$dT_{chem} = (W/m \cdot R) (d(PV) - d(PV)_{pist}) \quad \cdots (4)$$

由于可以作为温度上升  $dT_{chem}$  (K)、气体质量  $m$  (kg) 和定容比热 (J/mol·K)  $C_v$  的乘积，求出由燃烧所产生的发热量  $dQ$  (J)，由 (4) 式得到：

$$\begin{aligned} 10 \quad dQ &= m \cdot C_v \cdot dT_{chem} \\ &= C_v \cdot W \cdot R (d(PV) - d(PV)_{pist}) \quad \cdots (5) \end{aligned}$$

由于每次喷射所产生的热量  $\Delta Q$ ，在图 24 (A) 中判断每次喷射的燃烧期间，所以可以通过从各燃料喷射的燃烧开始 (start) 到燃烧终止 (end) 对 (5) 式进行积分而求出。

即，

$$\begin{aligned} \Delta Q &= \frac{C_v \times W}{R} \int_{start}^{end} (d(PV) - d(PV)_{pist}) d\theta \\ &= \frac{C_v \times W}{R} (((PV)_{end} - (PV)_{start}) - ((PV)_{pist,end} - (PV)_{pist,start})) \\ &\quad \cdots (6) \end{aligned}$$

20 在此， $(PV)_{end}$ 、 $(PV)_{start}$  分别为由汽缸内传感器所检测出的燃烧室内压力  $P$  和燃烧室容积  $V$  的乘积的、燃烧终止时和燃烧开始时的值。

25 此外， $(PV)_{pist,end}$ 、 $(PV)_{pist,start}$ ，为未发生燃烧时的仅有活塞压缩时 (所谓的电动回转时) 的燃烧室内压力和燃烧室容积  $V$  的乘积的、相当于燃烧终止时 (图 24 (A)、图 24 (B) 中的 end) 和燃烧开始时 (图 24 (A)、图 24 (B) 中的 start) 的曲柄转角

图 24 (B) 是表示图 24 (A) 的情况下的 PV 值的变化和 (PV) pist 值的变化图, 图 24 (B) 的曲线 P 表示与图 24 (A) 的曲线 P 相同的燃烧室内压力变化, 曲线 Q 表示放热率。

5

此外, 图 24 (B) 的曲线 S 表示曲线 P 的压力变化时的 PV 值, 曲线 T 表示 (PV) pist 值。如果内燃机一定, 则 (PV) pist 值通常为一定的曲线。

10

并且, 根据上式 (6), 例如利用图 24 (B) 中的 A 点上的 PV 值 ((PV) start) 和 (PV) pist 值 ((PV) pist, start) 与 B 点上的 PV 值 ((PV) end) 和 (PV) pist 值 ((PV) pist, end), 可以简单求出主喷射 Q1 的发热量  $\Delta Q$ 。

15

发热量  $\Delta Q$  与燃料喷射量具有密切的联系。在本实施方式中, 预先根据内燃机运转状态通过实验等求出各喷射的理想发热量, 存储在 ECU20 的 ROM 上。因此, 通过反馈控制燃料喷射量, 使得由 (6) 式所求出的实际的发热量与存储在 ROM 上的理想的发热量一致, 从而可以将燃料喷射量控制在最佳值。

20

图 25 是用于表示上述的燃烧时间和发热量的实际的计算操作的流程图。通过 ECU20 每隔一定曲柄角度实行本操作。

25

在图 25 中, 在步骤 401 中读入现在的曲柄转角  $\theta$  和由汽缸内压力传感器 29 所检测出的燃烧室内压力 P。之后, 在步骤 403 中, 根据曲柄转角  $\theta$  计算出现在的燃烧室内容积 V。在本实施方式中, 预先通过计算求出  $\theta$  和 V 的关系, 作为利用  $\theta$  的一维数值表存储在 ECU20 的 ROM 上。在步骤 403 中, 利用在步骤 401 中所读入的  $\theta$  的值, 根据该数值表求出燃烧室内容积 V。

30



接着，在步骤 405 中，利用通过在步骤 401 中所读入的压力  $P$  和在步骤 403 中所计算出的容积  $V$  计算出  $PV^\gamma$ 。预先通过实验求出  $\gamma$ （多变指数），并存储在 ECU20 的 ROM 上。

5            步骤 407 表示  $PV^\gamma$  微分值的计算操作。在本实施方式中，作为本次所计算出的  $PV^\gamma$  值  $(PV^\gamma)_i$  和实行上次操作时所计算出的  $(PV^\gamma)_{i-1}$  的微分，计算出  $PV^\gamma$  微分值  $d(PV^\gamma)/d\theta$ 。

接着，步骤 409 到步骤 417 表示燃烧开始时间的检测。

10

在步骤 409 中，判断标志  $XS$  的值是否被设定为 1。表示  $XS$ ，用于表示燃烧期间的开始时间的检测是否结束，当  $XS=1$  时，表示检测结束。

15

在步骤 409 中，当检测未结束 ( $X \neq 1$ ) 时进入步骤 411，保留步骤 413 以下的操作实行，待机到在步骤 407 中所计算出的  $PV^\gamma$  微分值达到规定值  $C1$  以上。如上所述， $PV^\gamma$  微分值除了燃烧期间以外大都为 0，只有在燃烧期间内为正值。 $C1$  是用于防止因杂音等产生误检的判定值，将其设定为尽可能接近于 0 的正值。开始燃烧时，在步骤 411 中虽然  $PV^\gamma$  微分值大于  $C1$ ，但是由于在步骤 411 中最初如果  $d(PV^\gamma)/d\theta > C1$  成立，则接着在步骤 413 中将标志  $XS$  的值设定为 1，所以从下次开始不实行步骤 411 到步骤 417。

20

由此，可以准确检测出燃烧开始时间。即，在步骤 411 中如果最初  $d(PV^\gamma)/d\theta > C1$  成立时，在步骤 415、417 中将这时的曲柄转角  $\theta$  存储为燃烧开始时的曲柄转角  $\theta_{start}$ ，并且计算出这时的  $PV$  值，存储为燃烧开始时的  $PV$  值  $(PV)_{start}$ 。此外，在步骤 419 中，根据预先计算出的图 24 (B) 的曲线  $T$  的关系求出电动回转中的  $PV$  值的  $(PV)_{pist}$  的燃烧开始时的值，作为  $(PV)_{pist, start}$  存储起来。

30

从步骤 419 到步骤 425 表示燃烧期间的终止时间的检测操作。只有在从步骤 411 到步骤 417 的燃烧期间开始时间的检测结束，将 XS 设定为 1 时才实行终止时间的检测操作。

5           从步骤 419 到步骤 425 的操作虽然与从步骤 411 到步骤 417 的操作相同，但是在步骤 419 中，将  $d(PV)/d\theta < C1$  时的曲柄转角作为燃烧终止时间  $\theta_{end}$ ，并分别将这时的 (PV)、(PV) pist 的值作为 (PV) end、(PV) pist, end 存储起来，在这一点上是不同的。并且，在存储上述数值后，在步骤 425 中，标志 XS 的值被重设为 0。由此，到再次  
10           在步骤 411 到 417 中检测出燃烧开始时间为止，而不再实行步骤 419 以下的操作。

之后，在终止上述操作后，在步骤 427 中利用上述 (6) 式，计算出本次的燃烧期间中的发热量  $\Delta Q$ 。

15

如上所述，通过实行图 25 的操作，对于多次燃料喷射中的各喷射，计算并存储燃烧开始时间  $\theta_{start}$ 、燃烧终止时间  $\theta_{end}$  以及发热量  $\Delta Q$ 。

接着，对利用上述所计算出的燃烧开始时间  $\theta_{start}$ 、燃烧终止时间  
20            $\theta_{end}$  以及发热量  $\Delta Q$  的燃料喷射控制进行说明。

在本实施方式中，燃料喷射量、喷射时间、燃料喷射压力的基本值以及喷射的方式（多点燃料喷射的类型），是通过由 ECU20 所另外实行的未图示的燃料喷射设定操作，利用内燃机转速和加速踏板开度  
25           并根据预先决定的关系而设定的。如果按照原有的该基本值进行实际的燃料喷射，可以使内燃机的燃烧状态最佳。但是实际上，由于燃料喷射阀的喷射特性的标准离差值和变化等，即使向燃料喷射阀施加相当于基本值的指令信号，也无法使实际的燃料喷射达到基本值。

30           在本实施方式中，反馈修正燃料喷射，使得能够利用燃烧开始时

间 $\theta_{start}$ 、燃烧终止时间 $\theta_{end}$  以及发热量 $\Delta Q$ ，以基本值进行实际的燃料喷射。

5 图 26 是用于说明由 ECU20 所实行的本实施方式的燃料喷射补正操作的顺序的流程图。

10 图 26，在步骤 501 中，首先根据内燃机运转条件和所计算出的 $\theta_{start}$ ，进行是否为要进行补正的燃料喷射的判断。即，进行现在要补正的燃料喷射为何种类型的多点燃料喷射的何种燃料喷射（例如是提前预喷射，还是接近预喷射等）的判断。

15 之后，在步骤 503 中，根据内燃机运转条件（内燃机转速、加速踏板开度），从预先存储在 ECU20 的 ROM 上的数值表读出现在要补正的燃料喷射的发热量的目标值。

20 之后，在步骤 505 中，增减补正燃料喷射量，使得在上述的图 25 的操作中所计算出的发热量 $\Delta Q$  与在步骤 503 中所设定的目标值一致。即，当实际的发热量 $\Delta Q$  小于目标值时，使燃料喷射量增大规定量；当大于目标值时，减少规定量。

25 之后，在步骤 507 中同样地根据内燃机运转条件从预先存储在 ECU20 的 ROM 上的数值表，读出燃烧开始时间和终止时间的目标值，在步骤 509 中，补正燃料喷射时间，使得实际的燃烧开始时间 $\theta_{start}$  与目标值一致。例如，当燃烧开始时间迟于目标值时，使燃料喷射开始时间角度提前，当早于目标值时使角度延迟。

30 进而，在步骤 511 中，补正燃料喷射压力。在本实施方式中，通过改变共用轨道来调整燃料喷射压力。即，在步骤 511 中，在步骤 509 中燃烧开始时间 $\theta_{start}$  与目标值一致的状态下，判断实际的燃烧终止时间 $\theta_{end}$  是迟于还是早于目标值，当迟于目标值时（实际的燃烧期间长

于目标值时), 使燃料喷射压力上升规定量, 相应地使燃料喷射的终止时间(燃料喷射阀的阀闭时间)角度提前, 维持燃料喷射量一定并使燃料喷射期间变化。此外, 相反当实际的燃烧终止时间早于目标值时, 使燃烧喷射压力降低规定量, 使燃料喷射的终止时间延迟。

5

通过反复执行上述各操作直到各自的值与目标值一致, 进行反馈修正, 使得多点燃料喷射的各燃料喷射时的实际的燃料喷射量、燃料喷射时间、燃料喷射压力达到可以得到适于运转状态的最佳燃烧的值。

10

如上所述, 在图 25 的操作中, 可以利用能通过简单的微分运算计算出来的  $PV'$  的微分值求出燃烧期间, 或通过  $PV$  值的简单运算求出发热量, 所以不必进行用于检测发热量和燃烧期间的复杂的计算。因此, 可以防止 ECU20 的计算负荷增大, 简单并可靠地准确检测出各个喷射的发热量和燃烧期间, 可以准确反馈控制各喷射的喷射量、喷射时间和喷射压力。

15

此外, 在本实施方式中, 由于根据实际的发热量、燃烧期间反馈控制多点燃料喷射的各喷射量和喷射时间、喷射压力, 所以, 例如当由于燃料喷射阀的公差值而使燃料喷射特性的个体间的标准离差值较大时, 或随着使用燃料喷射特性发生变化时, 也可以准确修正各燃料喷射特性。因此, 由于在共轨式燃料喷射装置中, 也可以一定程度地允许燃料喷射阀的特性的标准离差值, 不必像以往那样严格管理燃料喷射阀的特性的标准离差值, 所以可以降低燃料喷射阀的成本。

20

25

如上所述, 根据本发明, 根据喷射模式和燃烧模式使用最佳的燃烧参数来进行燃料喷射量、喷射时间、EGR 气体量的反馈控制, 从而可以最佳控制柴油机的燃烧状态, 而不会大幅度增大控制回路的运算负荷。

图1

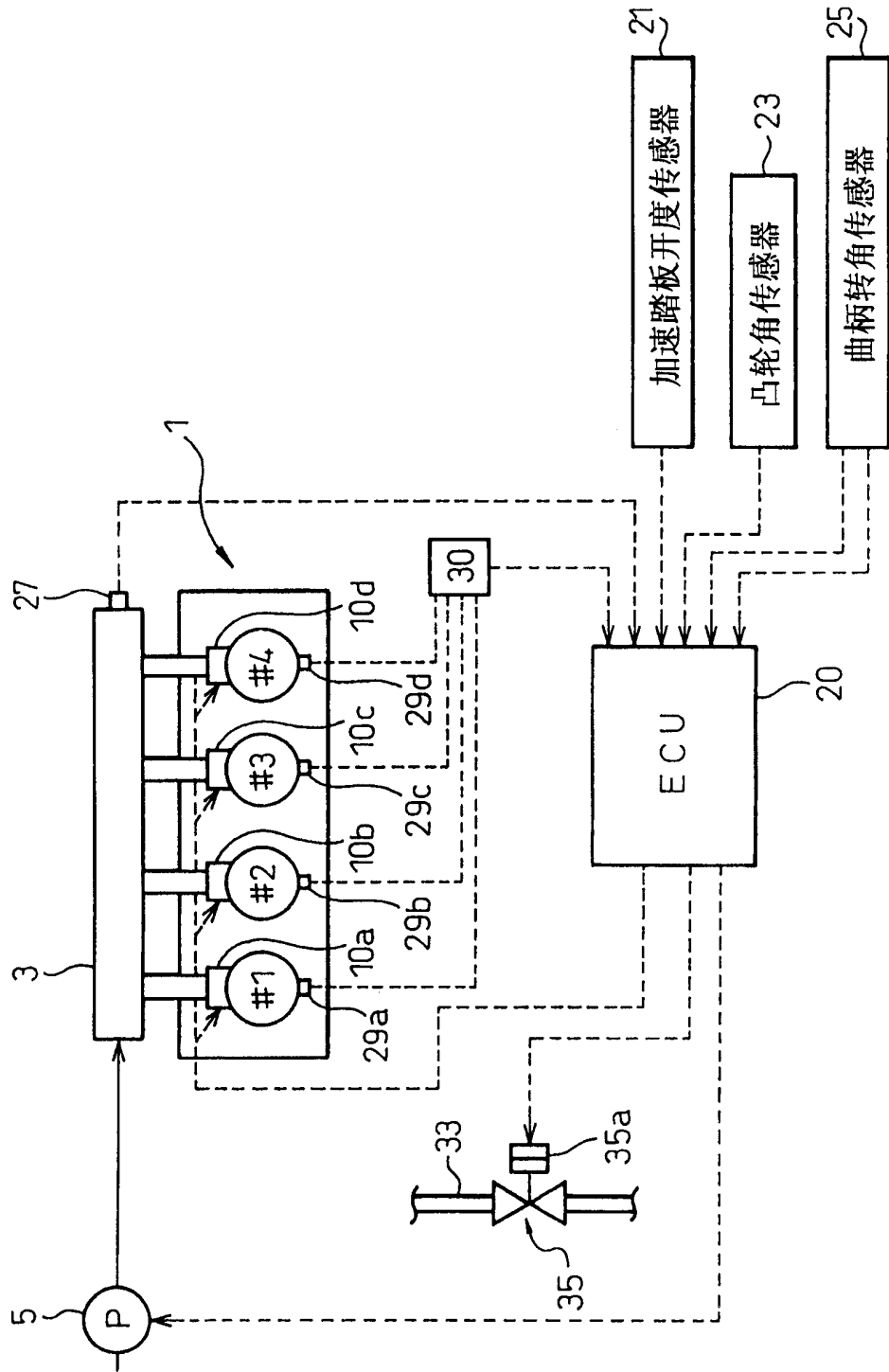


图2

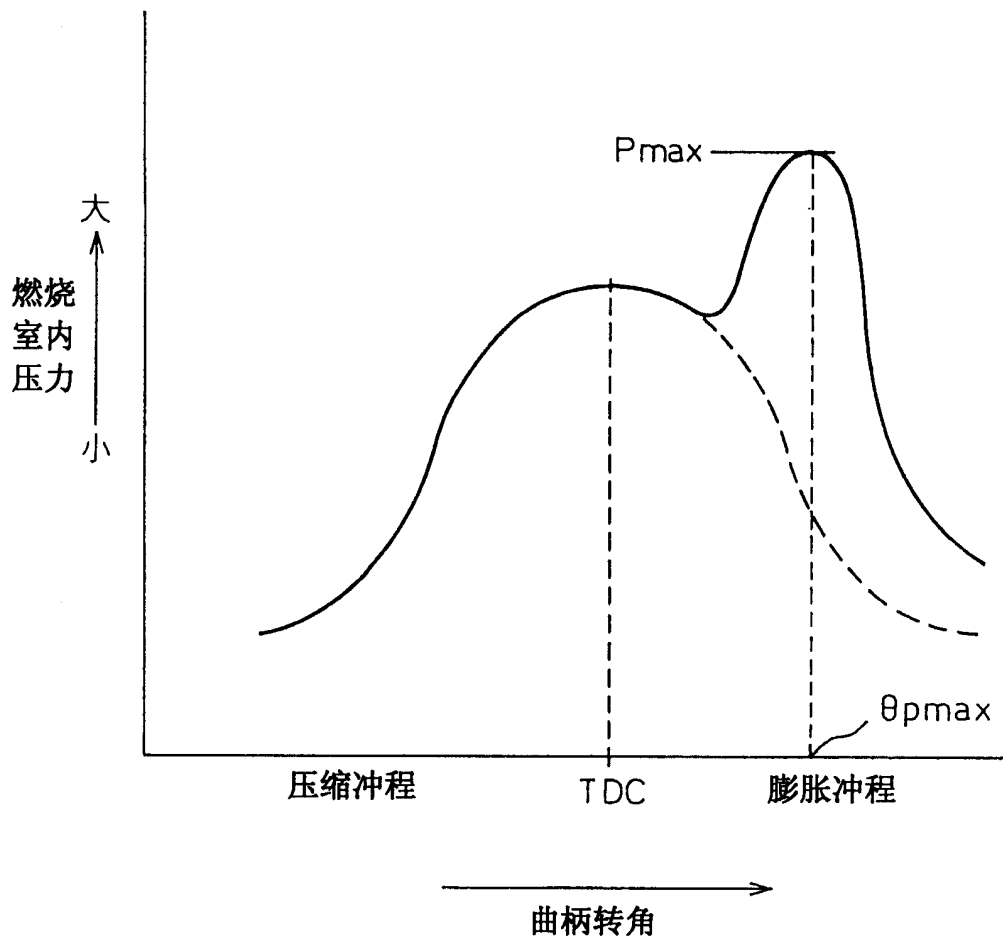


图3

燃烧参数 喷射模式	$(dP/d\theta)_{max}$	$(dP/d\theta)_{NO.2max}$	$(dP/d\theta)_{NO.3max}$
仅有主燃料喷射	主燃料喷射 喷射时间	—	—
预喷射+主燃料喷射	预喷射 喷射时间	主燃料喷射 喷射时间	—
主燃料喷射+残喷射	主燃料喷射 喷射时间	残喷射 喷射时间	—
预喷射+主燃料喷射 +残喷射	预喷射 喷射时间	主燃料喷射 喷射时间	残喷射 喷射时间

图4

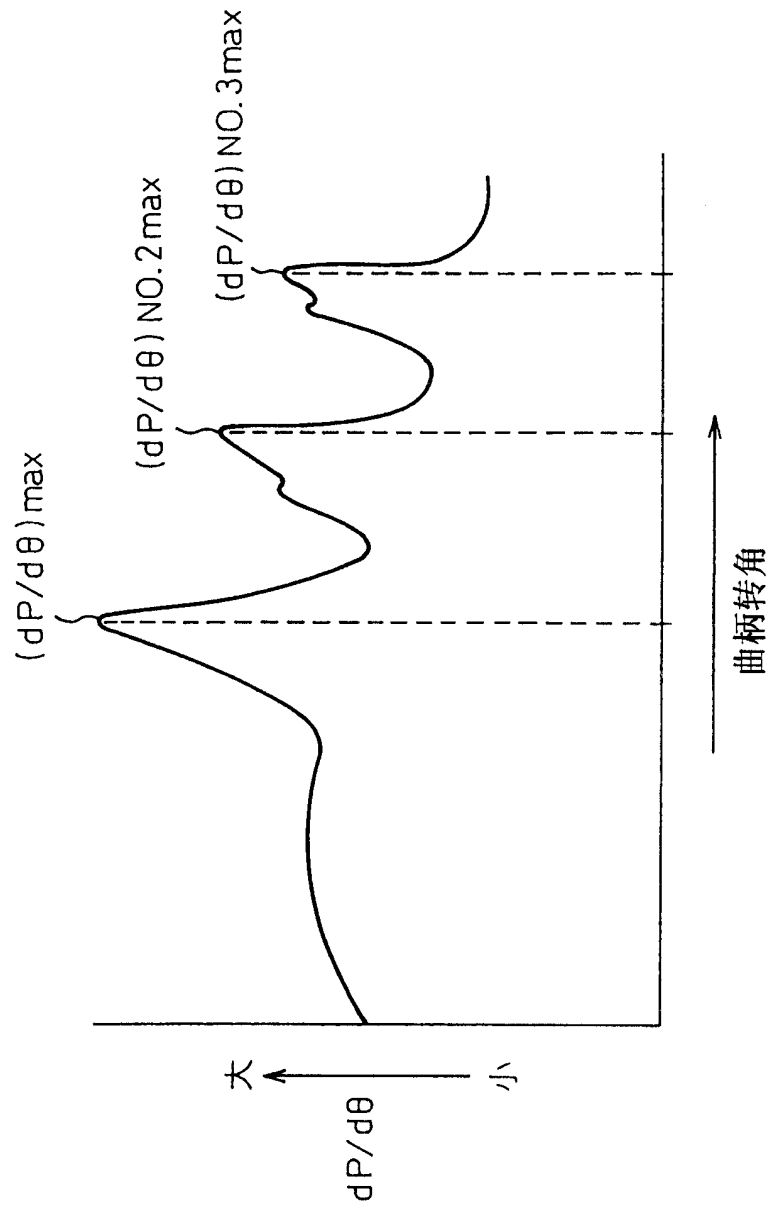




图5

燃烧参数 喷射模式	$(d_{2P}/d_{\theta 2})_{max}$	$(d_{2P}/d_{\theta 2})_{NO.2max}$	$(d_{2P}/d_{\theta 2})_{NO.3max}$
仅有主燃料喷射	主燃料喷射 喷射时间	—	—
预喷射 + 主燃料喷射	预喷射 喷射时间	主燃料喷射 喷射时间	—
主燃料喷射 + 残喷射	主燃料喷射 喷射时间	残喷射 喷射时间	—
预喷射 + 主燃料喷射 + 残喷射	预喷射 喷射时间	主燃料喷射 喷射时间	残喷射 喷射时间

图6

燃烧参数 喷射模式	$(dQ/d\theta)_{max}$	$(dQ/d\theta)_{NO.2max}$	$(dQ/d\theta)_{NO.3max}$
仅有主燃料喷射	主燃料喷射 喷射时间	—	—
预喷射+主燃料喷射	预喷射 喷射时间	主燃料喷射 喷射时间	—
主燃料喷射+残喷射	主燃料喷射 喷射时间	残喷射 喷射时间	—
预喷射+主燃料喷射 +残喷射	预喷射 喷射时间	主燃料喷射 喷射时间	残喷射 喷射时间

图7

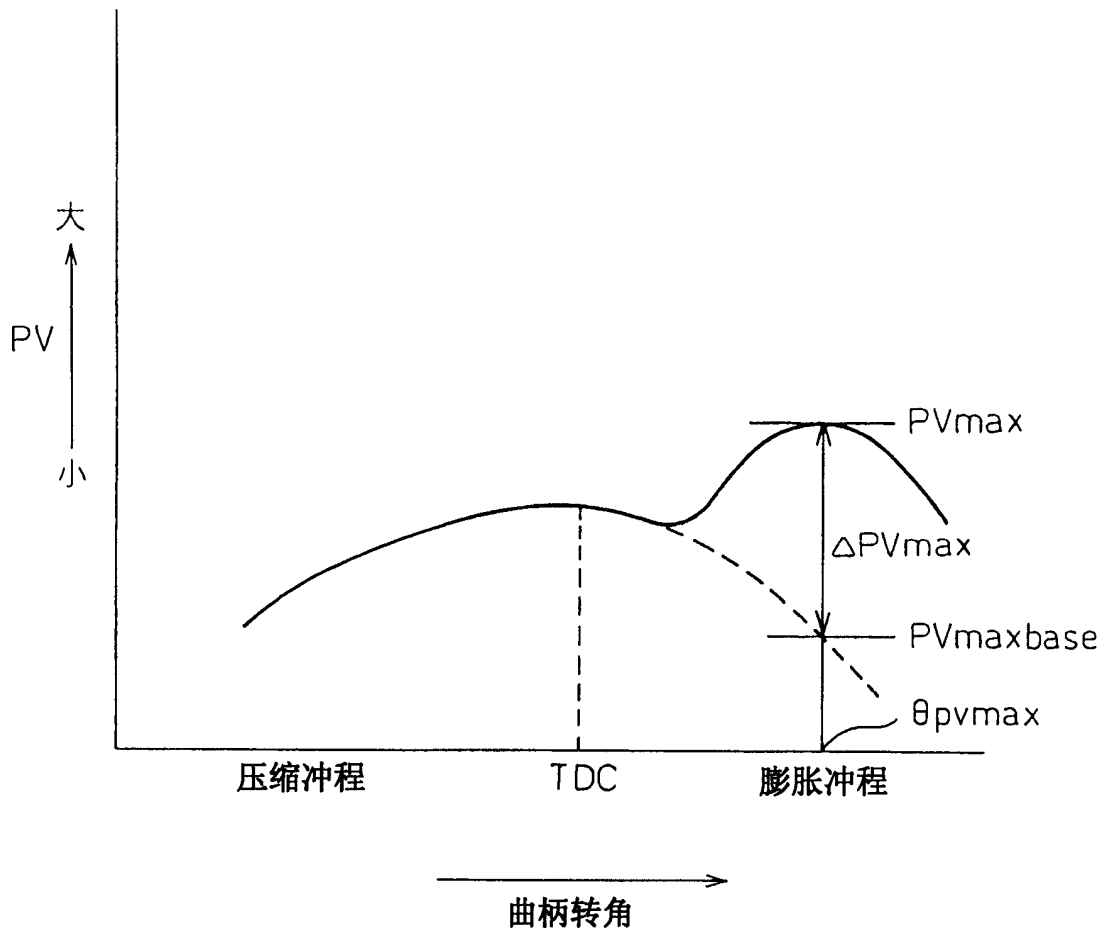


图8

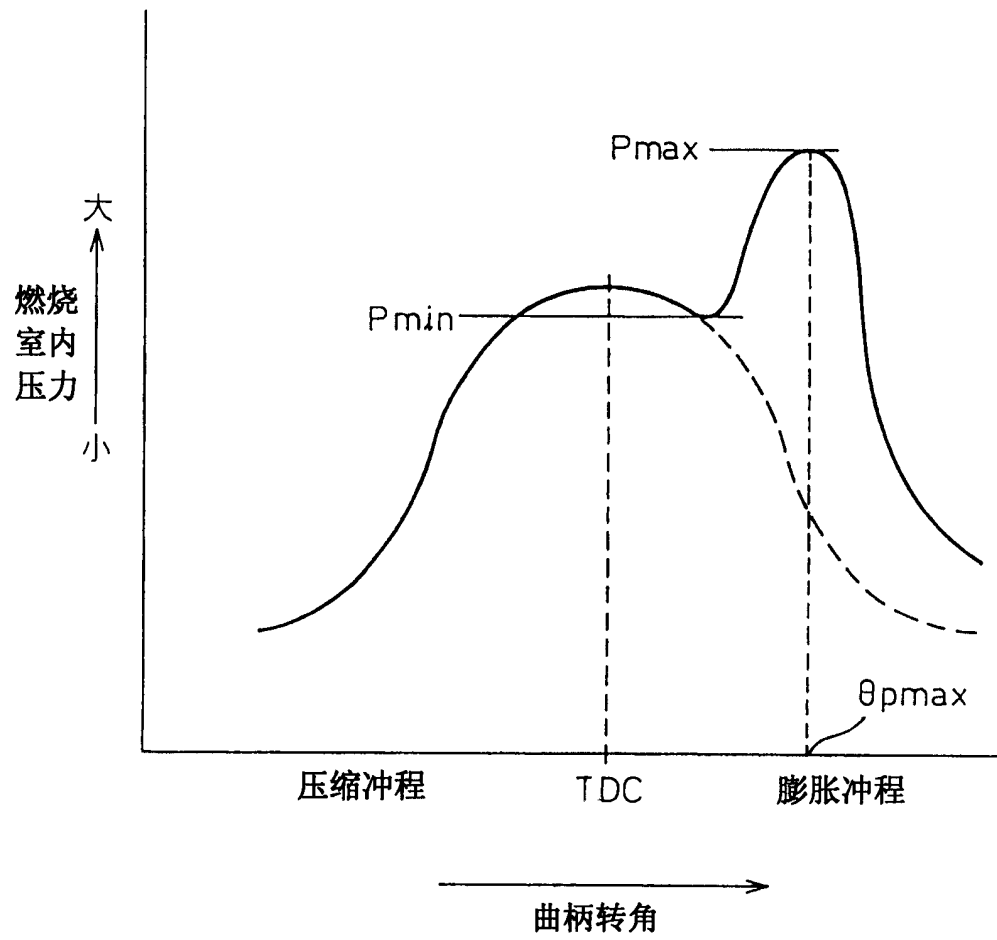


图9

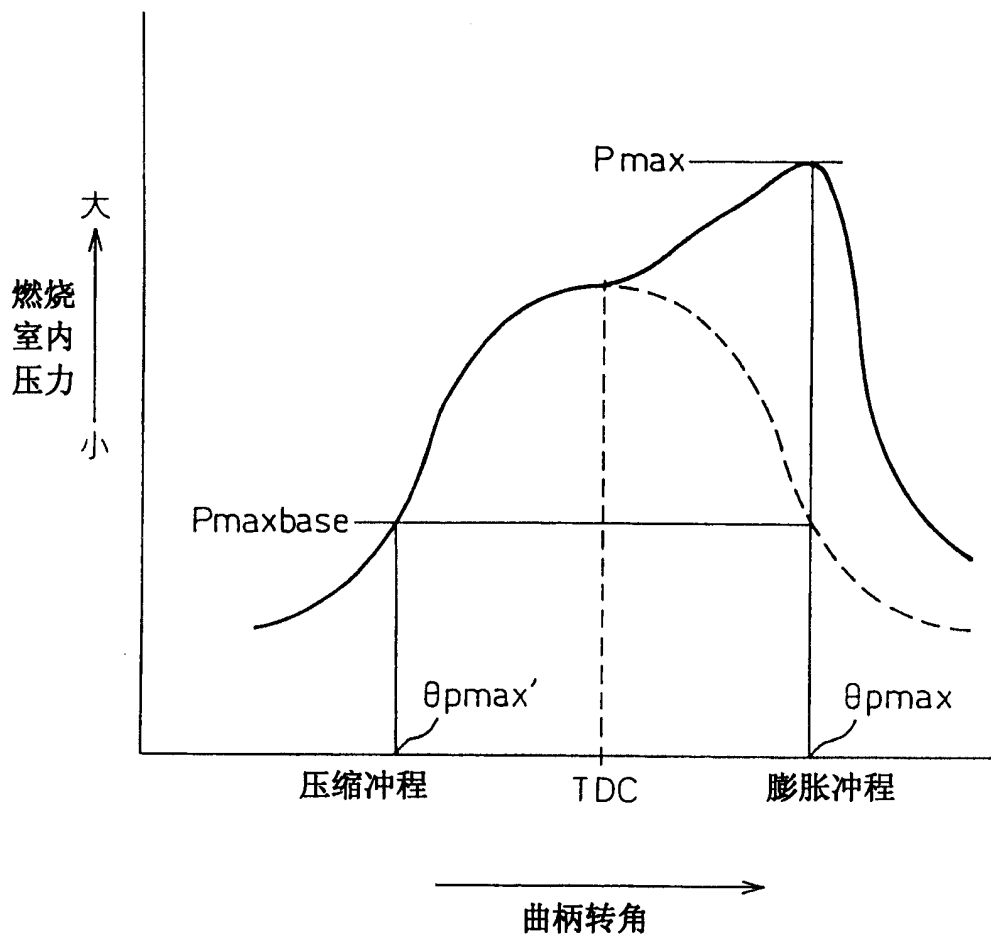


图10

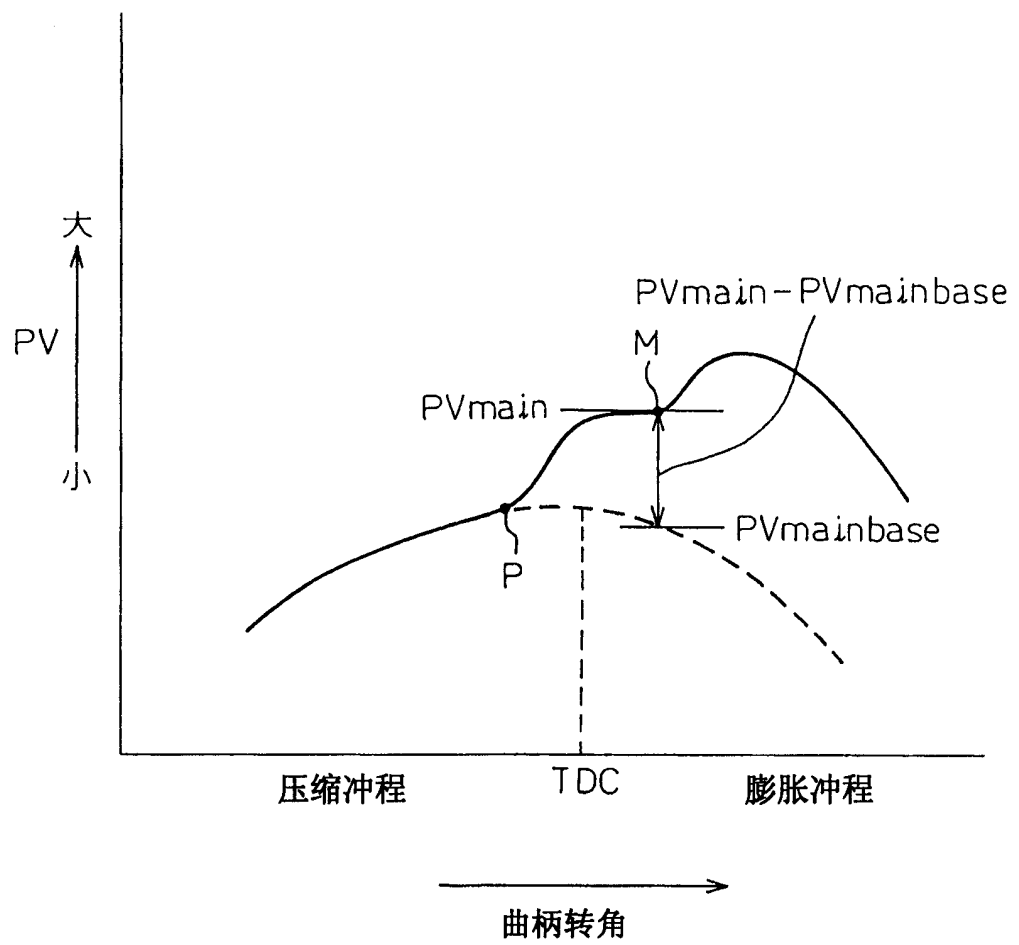


图11

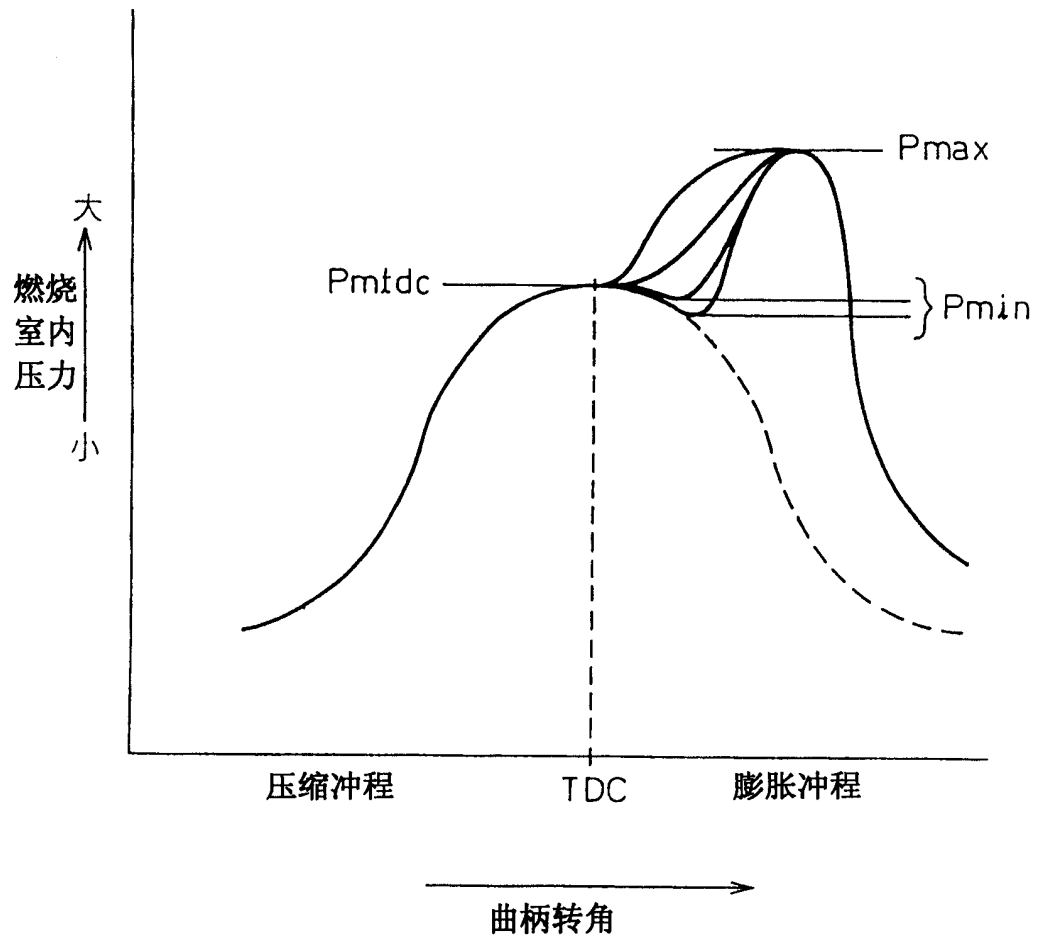


图12

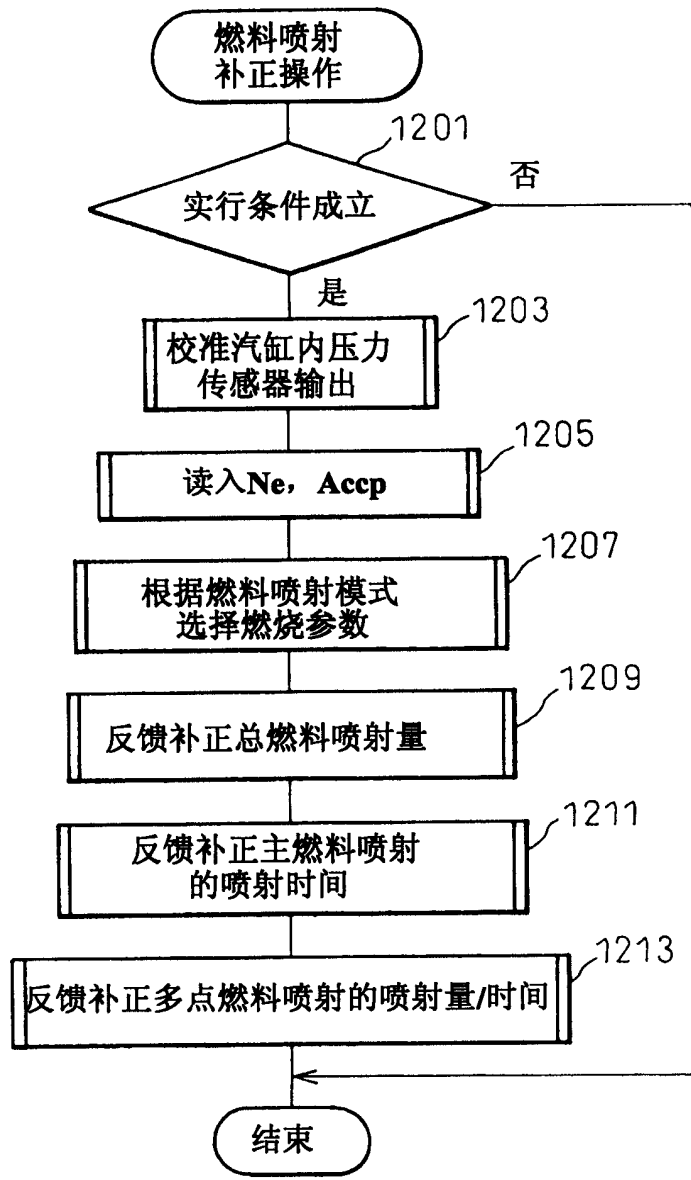




图13

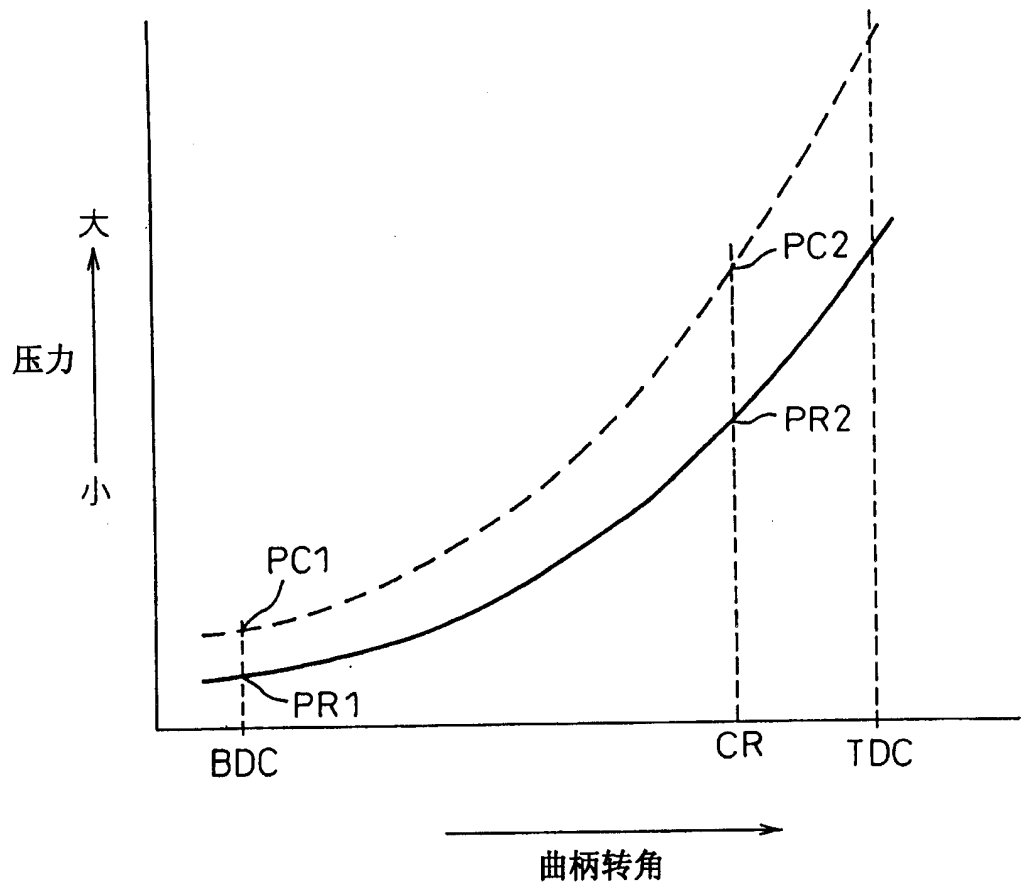


图14

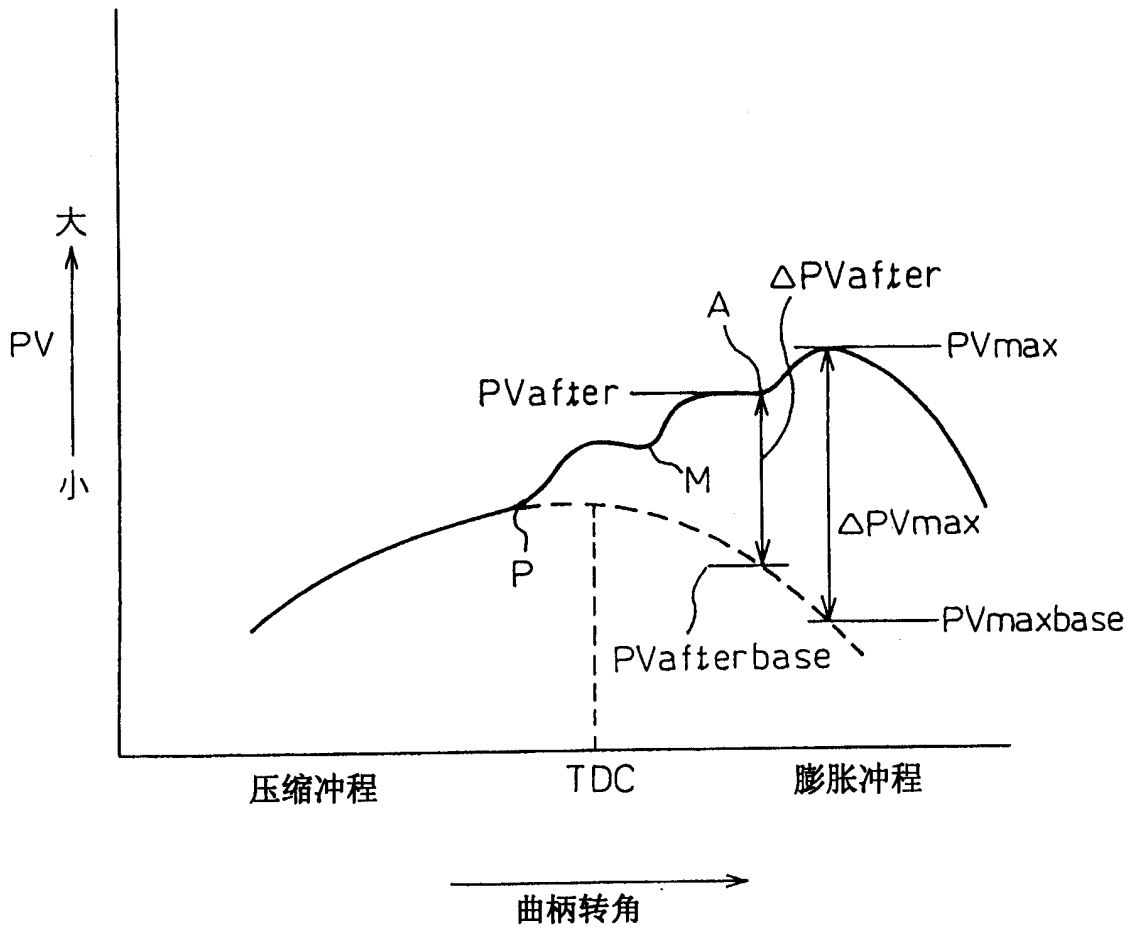


图15

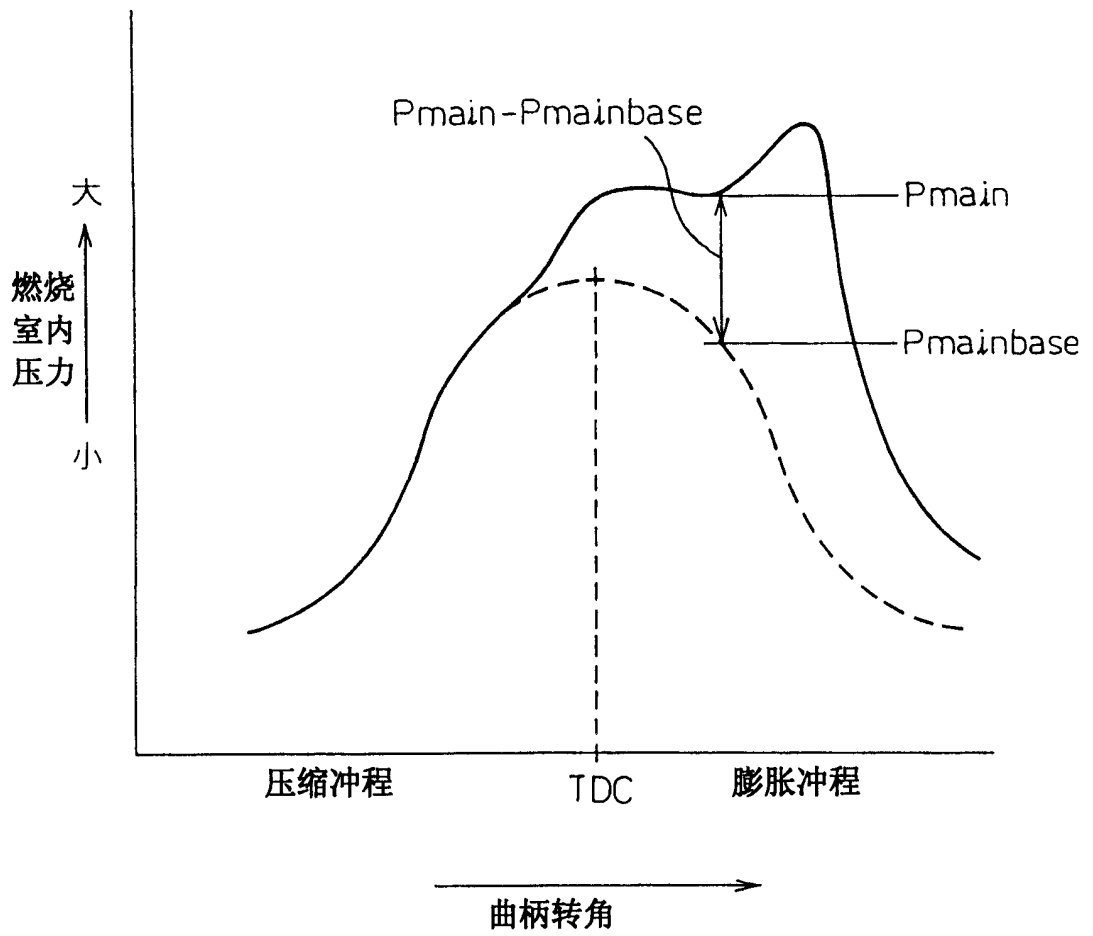


图16

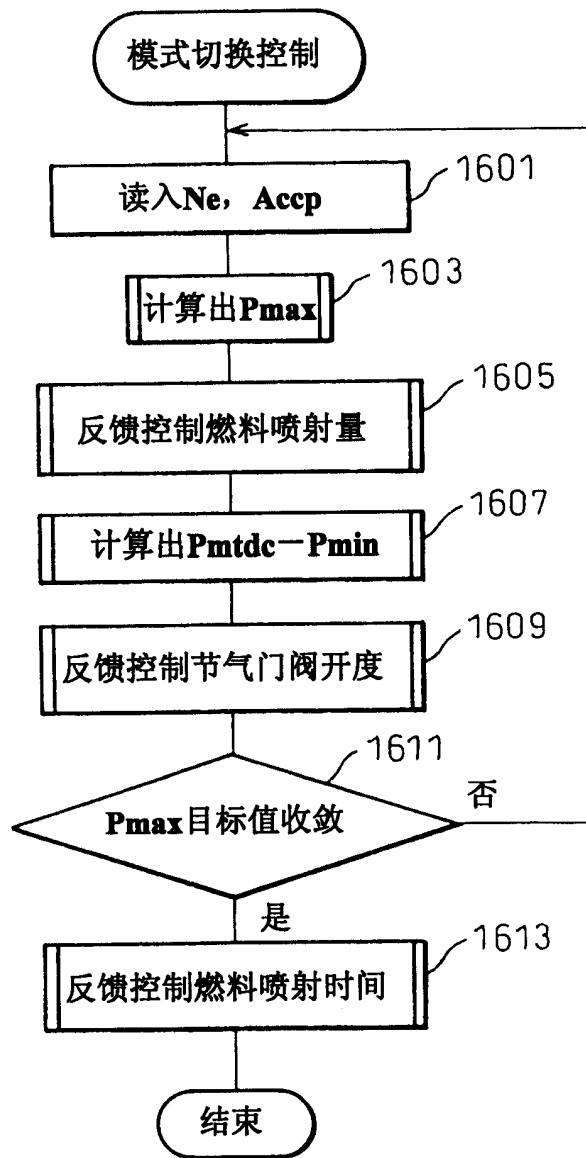


图17

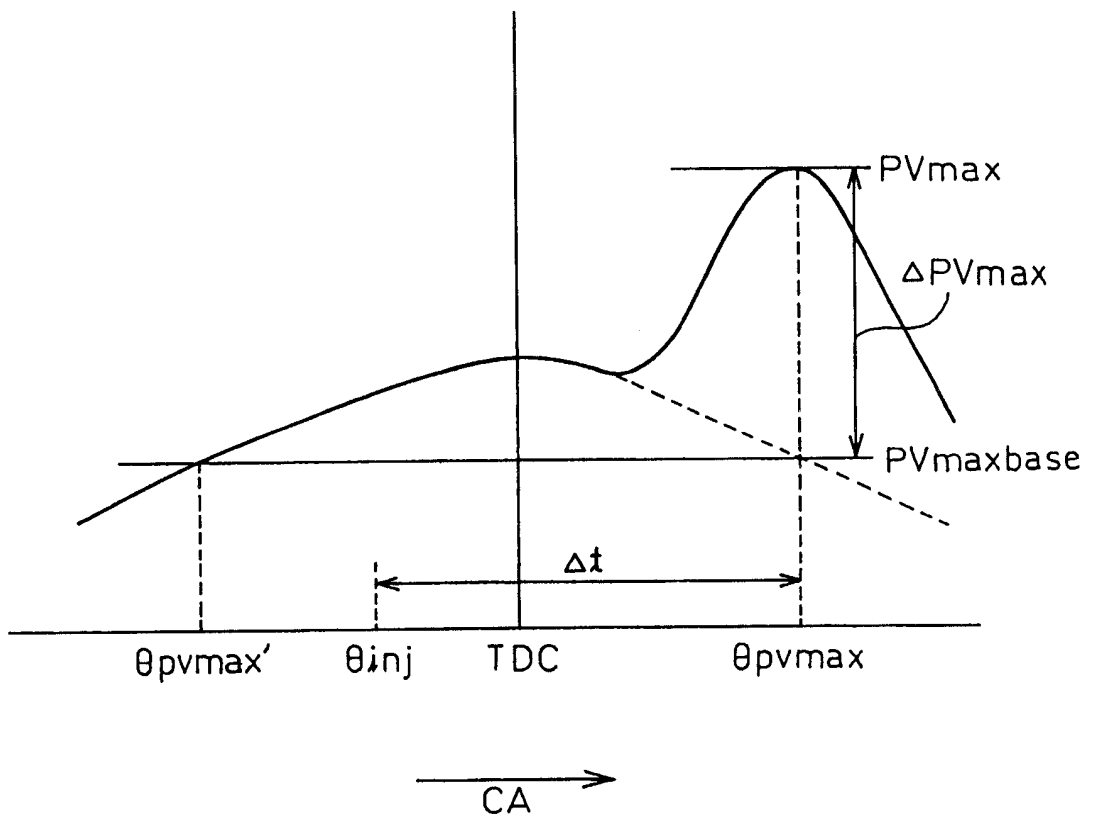


图18

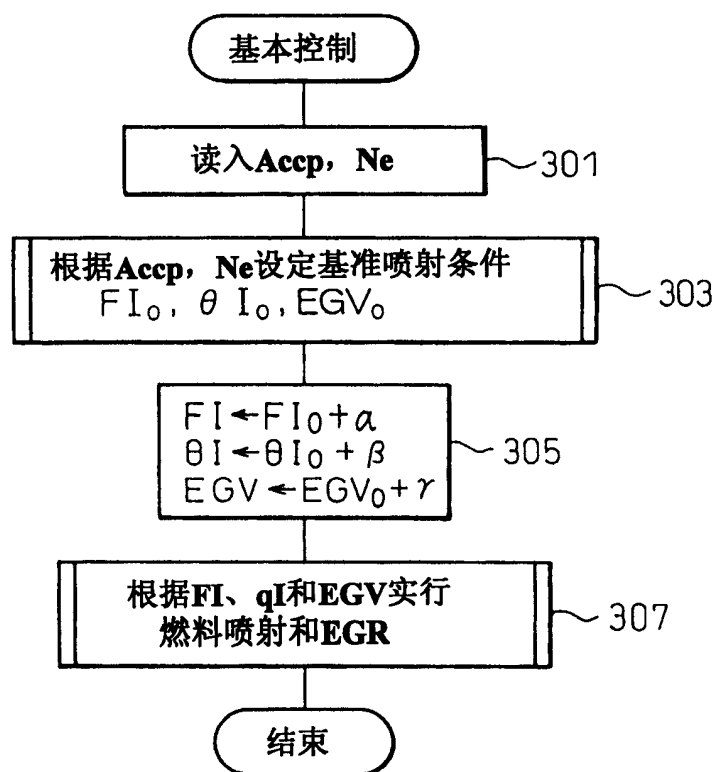


图19

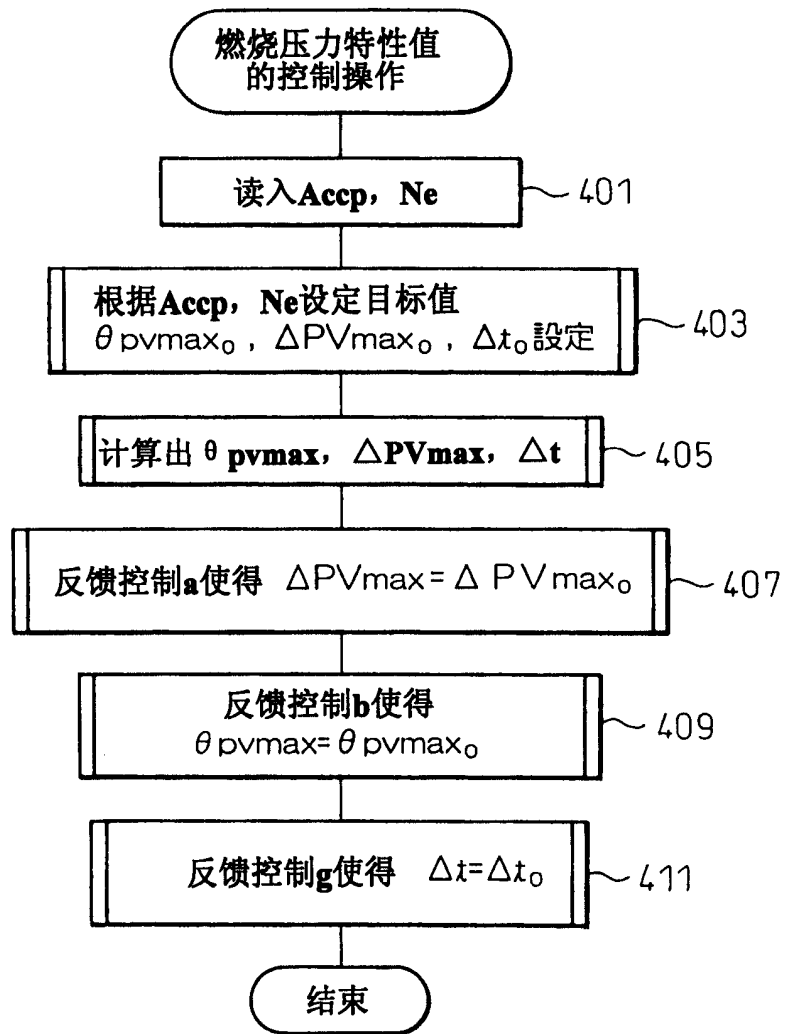


图20

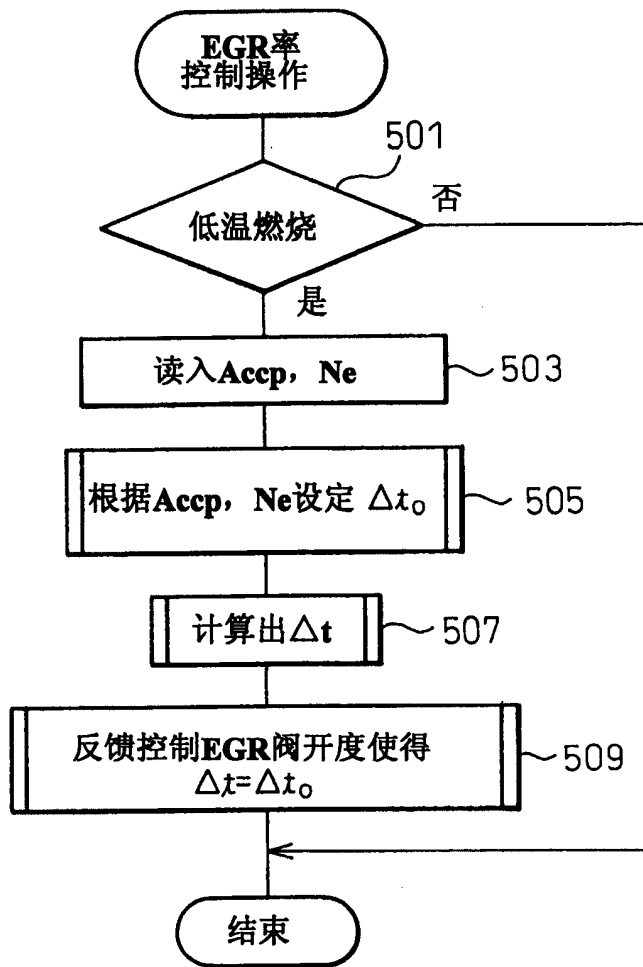




图21

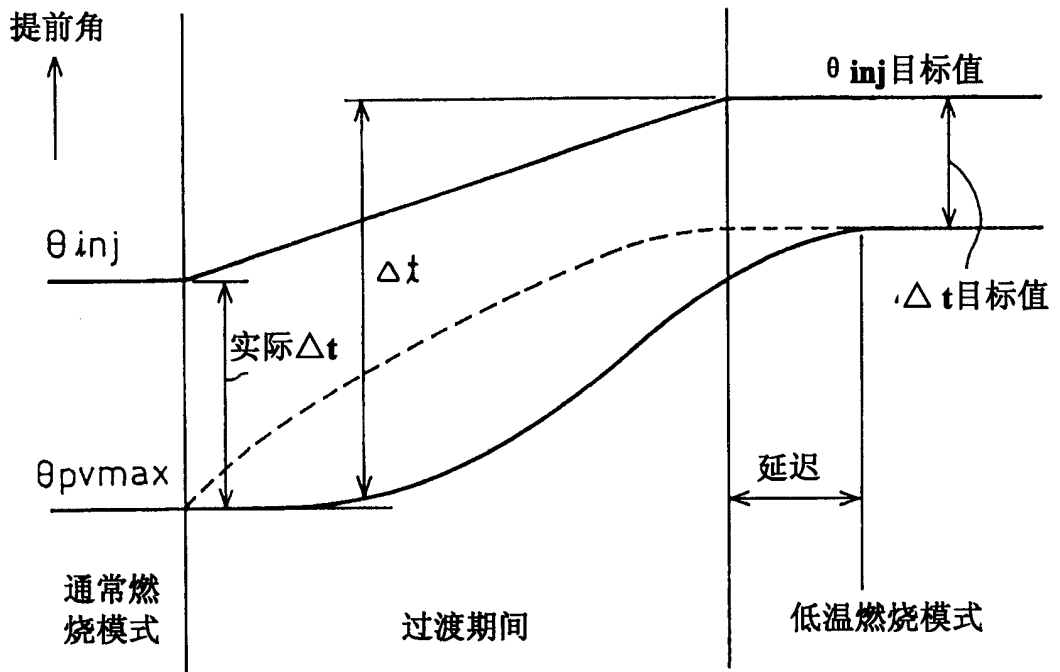


图22

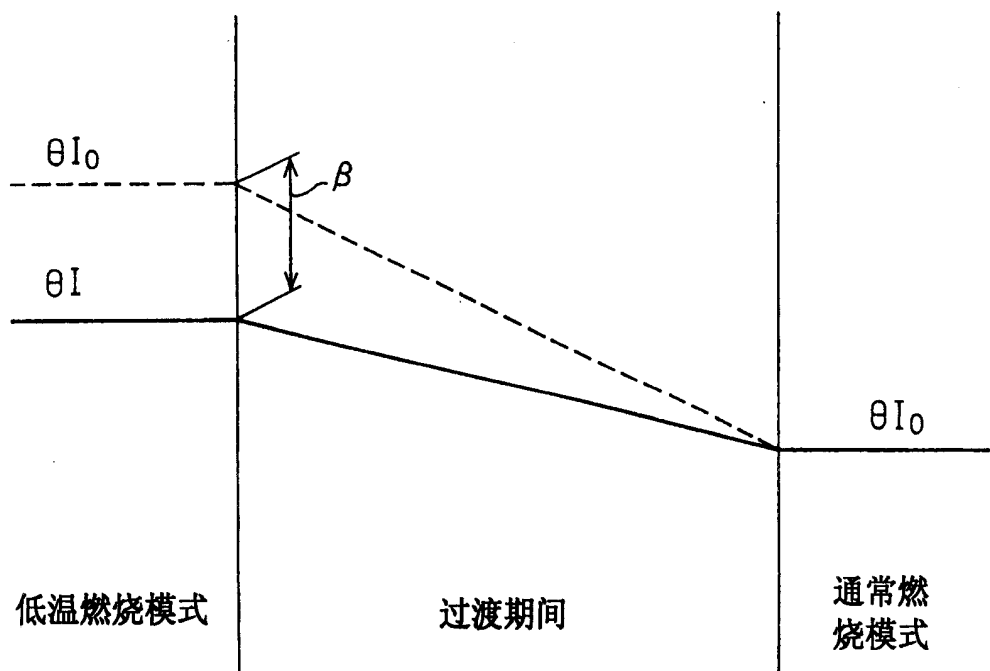


图23

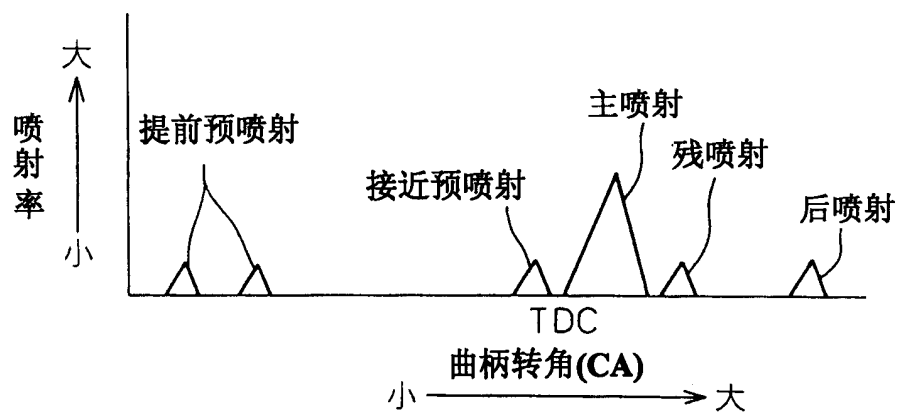


图24

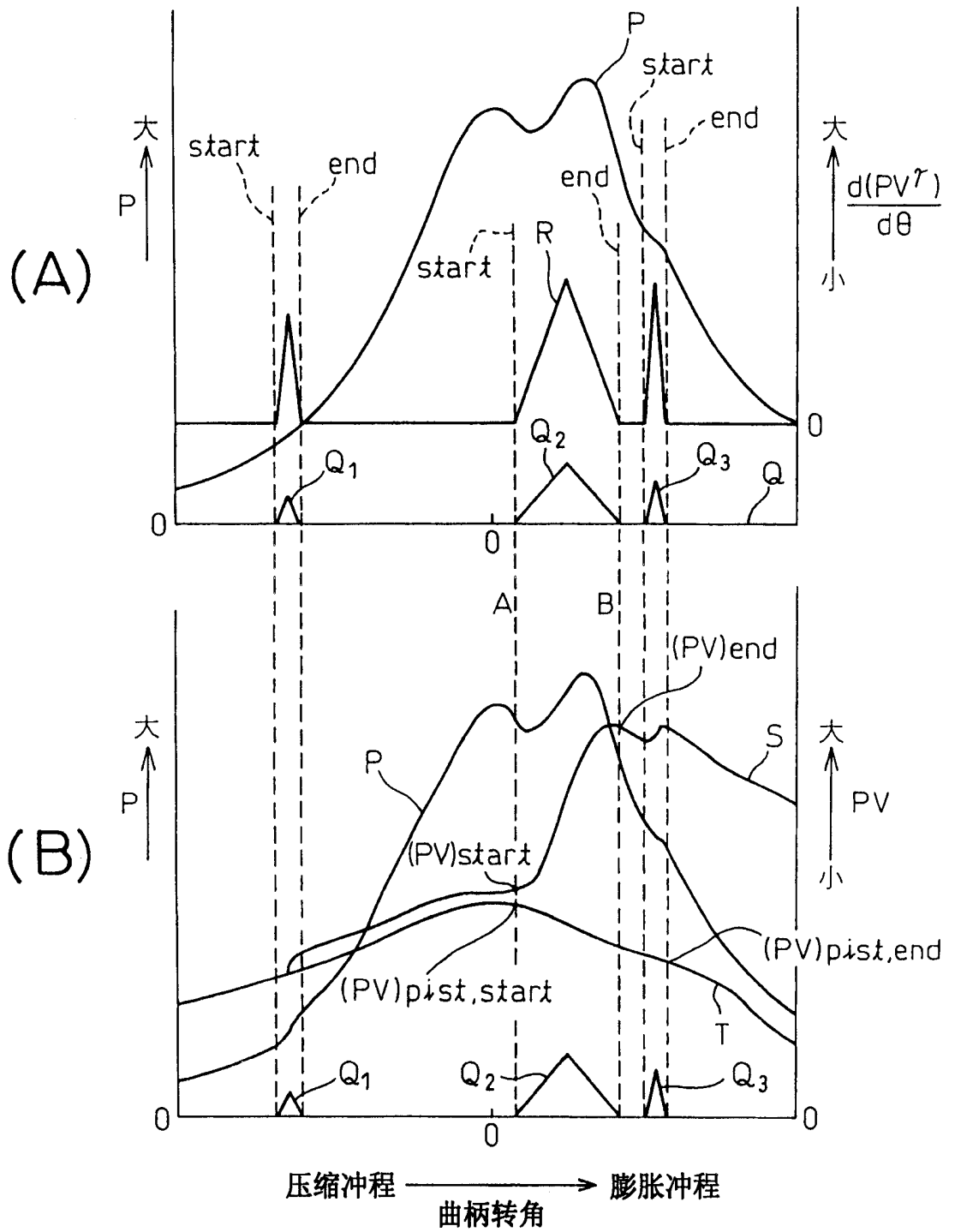


图25

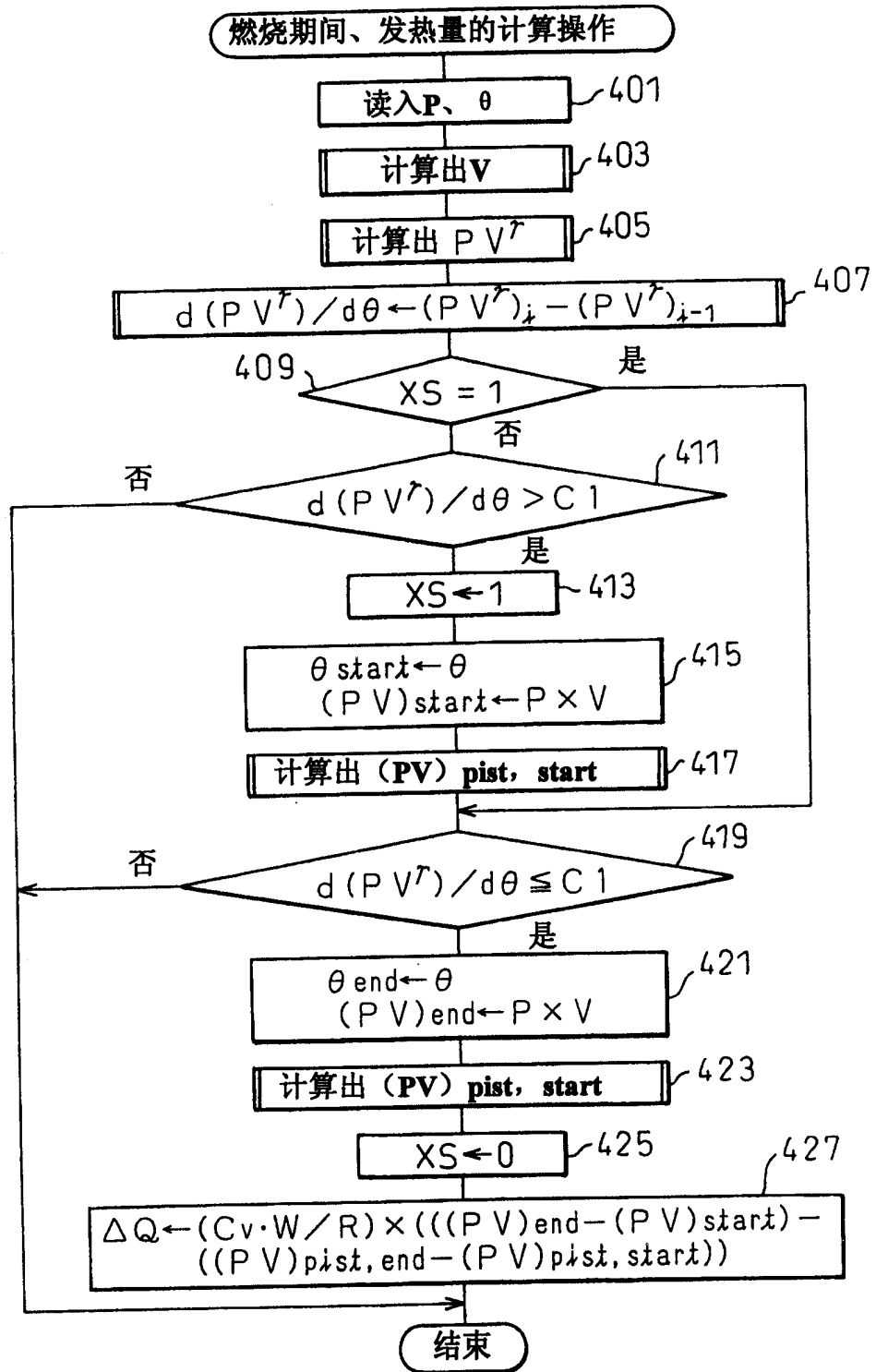


图26

