



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 103670720 B

(45) 授权公告日 2016. 03. 16

(21) 申请号 201310371763. 2

(22) 申请日 2013. 08. 23

(30) 优先权数据

2012-188737 2012. 08. 29 JP

(73) 专利权人 马自达汽车株式会社

地址 日本广岛县安芸郡

(72) 发明人 岩井浩平 山川正尚 长津和弘

养祖隆 荒木启二

(74) 专利代理机构 上海瀚桥专利代理事务所

(普通合伙) 31261

代理人 曹芳玲

(51) Int. Cl.

F02D 1/16(2006. 01)

(56) 对比文件

US 2010077990 A1, 2010. 04. 01, 全文.

JP 2009091994 A, 2009. 04. 30, 全文.

CN 102465782 A, 2012. 05. 23, 说明书第

[0057], [0065], [0067], [0074] 段、附图 1.

CN 102052227 A, 2011. 05. 11, 全文.

CN 101040111 A, 2007. 09. 19, 全文.

JP 2007154859 A, 2007. 06. 21, 全文.

US 4949689 A, 1990. 08. 21, 全文.

审查员 闫利斌

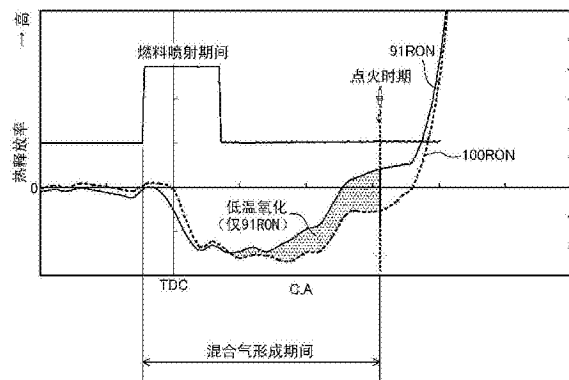
权利要求书2页 说明书15页 附图7页

(54) 发明名称

火花点火式直喷发动机

(57) 摘要

本发明涉及火花点火式直喷发动机。本发明中, 控制器(10) 在发动机主体(1) 的运行状态位于规定的高负荷区域时, 在低速域中, 以高燃料压力且至少在从压缩行程后期至膨胀行程初期的期间内执行燃料喷射, 并且驱动火花塞(25) 而对汽缸(18) 内的混合气执行火花点火, 在高速域中, 至少在从进气行程初期至压缩行程中期的期间内执行燃料喷射, 且在规定的正时驱动火花塞(25)。控制器(10) 形成为根据燃料的辛烷值的差异而变更点火时期的结构, 并且设定为在低速域中的与辛烷值的差异相对应的点火时期的变更幅度小于在高速域中的点火时期的变更幅度。



1. 一种火花点火式直喷发动机,具备:
形成为具有汽缸的结构 of 发动机主体;
形成为向所述汽缸内喷射燃料的结构 of 燃料喷射阀;
形成为设定所述燃料喷射阀喷射的所述燃料的压力的结构 of 燃料压力设定机构;
形成为面向所述汽缸内配设且对所述汽缸内的混合气点火的结构 of 火花塞;和
形成为至少控制所述燃料喷射阀、所述燃料压力设定机构及所述火花塞,以此运行所述发动机主体的结构 of 控制器;

其特征在于,

所述控制器在所述发动机主体的运行状态位于规定的高负荷区域时,

在低速域中,通过所述燃料压力设定机构使所述燃料的压力为 30MPa 以上的高燃料压力,且以至少在从压缩行程后期至膨胀行程初期的期间内执行燃料喷射的方式驱动所述燃料喷射阀,并且在所述燃料喷射结束后驱动所述火花塞而对所述汽缸内的混合气执行火花点火;

在与所述低速域相比转速高的高速域中,以至少在从进气行程至所述压缩行程中期的期间内执行燃料喷射的方式驱动所述燃料喷射阀,且在规定的正时驱动所述火花塞而对所述汽缸内的混合气执行火花点火;

所述控制器形成为根据所述燃料的辛烷值的差异变更所述火花塞的点火时期的结构,并且使在所述高负荷区域中的所述低速域的与所述辛烷值的差异对应的所述点火时期的变更幅度小于在所述高负荷区域中的所述高速域的所述点火时期的变更幅度。

2. 根据权利要求 1 所述的火花点火式直喷发动机,其特征在于,

所述控制器在高负荷区域中的所述低速域中,不论所述辛烷值的差异都使所述点火时期相同。

3. 根据权利要求 1 所述的火花点火式直喷发动机,其特征在于,

在能往复运动地内插在所述汽缸内的活塞的顶面上形成有凹状的腔室;

所述控制器在所述高负荷区域中的所述低速域中,在将所述燃料喷射至所述腔室内的正时驱动所述燃料喷射阀。

4. 根据权利要求 3 所述的火花点火式直喷发动机,其特征在于,

所述燃料喷射阀是多喷口型,且配置在所述发动机主体的燃烧室的中央部分,并且设定为在所述高负荷区域中位于所述低速域时,在从所述压缩行程后期至膨胀行程初期的期间内,以辐射状向所述腔室内喷射燃料。

5. 根据权利要求 1 所述的火花点火式直喷发动机,其特征在于,

所述控制器在所述发动机主体的运行状态位于所述规定的高负荷区域中的所述高速域时,通过所述燃料压力设定机构使所述燃料的压力为低于 30MPa 的低燃料压力,并且以至少在从进气行程至所述压缩行程中期的期间内执行燃料喷射的方式驱动所述燃料喷射阀。

6. 根据权利要求 1 所述的火花点火式直喷发动机,其特征在于,

所述控制器使所述发动机主体的运行状态位于规定的高负荷区域时的所述点火时期,在所述燃料的辛烷值相对低时与在所述燃料的辛烷值相对高时相比延迟;

并且使与该辛烷值的差异相对应的所述点火时期的变更幅度,在所述高负荷区域中的

所述低速域时与在所述高负荷区域中的所述高速域时相比,在时间间隔上小。

7. 根据权利要求 1 至 6 中任意一项所述的火花点火式直喷发动机,其特征在于,对于一个汽缸设置有多个所述火花塞;

所述控制器在所述发动机主体的运行状态位于所述规定的高负荷区域中的所述高速域时,分别驱动多个火花塞并执行多点点火。

火花点火式直喷发动机

技术领域

[0001] 本发明公开的技术涉及火花点火式直喷发动机。

背景技术

[0002] 在提高火花点火式汽油发动机的理论热效率的方面,提高其几何压缩比是有效的。例如在专利文献 1 中记载了将几何压缩比设定为 14 以上的高压缩比的火花点火式直喷发动机。

[0003] 在专利文献 2 中记载了在根据发动机的运行状态将压缩点火燃烧和火花点火燃烧进行切换的火花点火式直喷发动机中,在从压缩点火燃烧切换过渡到火花点火燃烧时,通过实施 EGR (Exhaust Gas Recirculation ;排气再循环) 和使空燃比变浓 (rich) 化,以此避免爆震的技术。

[0004] 专利文献 1 :日本特开 2007-292050 号公报 ;

[0005] 专利文献 2 :日本特开 2009-91994 号公报。

发明内容

[0006] 然而,如在专利文献 1 中记载的那样的高压缩比的火花点火式汽油发动机,尽管有利于热效率的改善,但是发动机的运行状态位于中·高负荷域时,存在容易导致爆震(尾气(end gas)爆震)的问题。如在专利文献 1 中也记载的那样,作为爆震对策,通常延迟点火时期,但是当延迟点火时期时转矩会减少。

[0007] 又,在以使用辛烷值(octane number)高的燃料(例如在高辛烷值汽油(在中国相当于“97 号汽油”))为前提的车辆(所谓的高辛烷值规格的车辆)中,由于燃料的抗爆震性较高,因此点火时期设定在提前侧,借助于此谋求转矩的改善。但是向这样的高辛烷值规格的车辆供给辛烷值低的燃料(例如普通汽油(在中国相当于“93 号汽油”))时,容易发生爆震,因此介入了通过延迟点火时期而避免爆震的爆震控制。当介入爆震控制时,转矩会减小。

[0008] 在这里公开的技术是鉴于上述问题而形成的,其目的是在火花点火式直喷发动机中,抑制高负荷区域的异常燃烧,与此同时抑制因被供给的燃料的辛烷值低而引起的转矩的减小。

[0009] 在这里公开的技术涉及火花点火式直喷发动机,具备:形成为具有汽缸的结构的发动机主体;形成为向所述汽缸内喷射燃料的结构的燃料喷射阀;形成为设定所述燃料喷射阀喷射的所述燃料的压力的结构的燃料压力设定机构;形成为面向所述汽缸内配设且对所述汽缸内的混合气点火的结构的火花塞;和形成为至少控制所述燃料喷射阀、所述燃料压力设定机构及所述火花塞,以此运行所述发动机主体的结构的控制器。

[0010] 而且,所述控制器在所述发动机主体的运行状态位于规定的高负荷区域时,在低速域中,通过所述燃料压力设定机构使所述燃料的压力为 30MPa 以上的高燃料压力,且以至少在从压缩行程后期至膨胀行程初期的期间内执行燃料喷射的方式驱动所述燃料喷射阀,并且在所述燃料喷射结束后驱动所述火花塞而对所述汽缸内的混合气执行火花点火;在

与上述低速域相比转速高的高速域中,以至少在从进气行程至所述压缩行程中期的期间内执行燃料喷射的方式驱动所述燃料喷射阀,且在规定的正时驱动所述火花塞而对所述汽缸内的混合气执行火花点火。

[0011] 所述控制器形成为根据所述燃料的辛烷值的差异变更所述火花塞的点火时期的结构,并且使在所述高负荷区域中的所述低速域的与所述辛烷值的差异对应的所述点火时期的变更幅度小于在所述高速域中的所述点火时期的变更幅度。

[0012] 在这里,“规定的高负荷区域”既可以是在将发动机的运行区域按负荷的高低划分为高负荷区域和低负荷区域的两个区域时的高负荷区域,也可以是将发动机的运行区域按负荷的高低划分为高负荷区域、中负荷区域及低负荷区域的三个区域时的高负荷区域、或者高负荷区域及中负荷区域。

[0013] 又,“压缩行程后期”及“压缩行程中期”也可以分别是将压缩行程划分为初期、中期及后期的三个期间时的后期及中期,同样地,“膨胀行程初期”也可以是将膨胀行程划分为初期、中期及后期的三个期间时的初期。

[0014] 此外,“点火时期的变更幅度”既可以是指点火时期的变更时间,也可以是指点火时期的变更曲轴角。

[0015] 根据上述结构,在发动机主体的运行状态位于规定的高负荷区域时,在低速域中,使燃料的压力为 30MPa 以上的高燃料压力,且以至少在从压缩行程后期至膨胀行程初期的期间内执行燃料喷射的方式驱动燃料喷射阀。

[0016] 提高燃料压力使单位时间内喷射的燃料量增多。在以相同的燃料喷射量进行比较时,高燃料压力缩短向汽缸内喷射燃料的期间、即喷射期间。这一点在相对地缩短从燃料喷射的开始至压缩点火的时间的方面是有利的。

[0017] 又,高燃料压力有利于向汽缸内喷射的燃料喷雾的微粒化,并且随着以较高的燃料压力向汽缸内喷射燃料,而使位于压缩上死点附近的汽缸内的湍流增强,汽缸内的湍流能量提高。这些因素提高位于压缩上死点附近的汽缸内的燃料的混合性,从而可在短时间内形成可燃混合气。

[0018] 这样,在燃料喷射结束后的规定的正时驱动火花塞而对汽缸内的混合气执行火花点火。点火时期例如也可以是压缩上死点以后的规定时期。

[0019] 如上述所述,以较高的燃料压力向汽缸内执行燃料喷射而提高汽缸内的湍流能量,使燃料的喷射时期位于压缩上死点附近,以此使从喷射开始至火花点火的期间缩短,可以维持较高的湍流能量的状态下开始火花点火燃烧。这可以使火焰传播快速进行而缩短火花点火燃烧的燃烧期间。

[0020] 像这样,在位于高负荷区域时的低速域中,以较高的燃料压力、且在压缩上死点附近的比较延迟的正时向汽缸内执行燃料喷射可以缩短喷射期间,缩短混合气形成期间,以及缩短燃烧期间。缩短喷射期间、混合气形成期间以及燃烧期间相加的混合气的可反应期间可以有效地避免过早点火和爆震等的异常燃烧。这样,通过燃料的喷射形态的研究可以避免异常燃烧,因此,在高负荷区域的低速域中,不需要为了避免异常燃烧而延迟点火时期,可以尽可能提前点火时期。这一点有利于转矩的提高。

[0021] 相对于此,在高负荷区域的高速域中,至少在从进气行程初期至压缩行程中期的期间内执行燃料喷射,并且在规定的正时驱动火花塞而对汽缸内的混合气执行火花点火。

[0022] 如上所述,当使燃料的喷射时期延迟至压缩上死点附近时,由于压缩行程中在汽缸内不存在燃料,因此相当于压缩比热比高的空气,从而在高负荷区域的高速域中,压缩上死点时温度大幅度提高而不利于爆震。因此,在高负荷区域的高速域中,至少在从进气行程至压缩行程中期的期间内执行燃料喷射。在这里,燃料压力尽管与上述相同地也可以设定为 30MPa 以上的高燃料压力,但是没有必要设定为这样的高燃料压力。通过在比较提前的正时向汽缸内喷射燃料,以此相当于在压缩行程中压缩比热比较低地包含燃料的气体,因此抑制汽缸内的气体的温度上升,从而可以抑制压缩上死点时温度以使其较低。其结果是,在高负荷区域的高速域中也有效地避免异常燃烧。

[0023] 又,所述控制器根据燃料的辛烷值的差异而变更火花塞的点火时期。具体的是,在向发动机主体供给辛烷值高而难以爆震的燃料(例如高辛烷值汽油)时,只要将点火时期设定为相对提前的时期,以此抑制爆震即可,另一方面在向发动机主体供给辛烷值低而相对地容易爆震的燃料(例如普通汽油)时,只要将点火时期设定为相对延迟的时期,以此抑制爆震即可。例如,如果以高辛烷值燃料的供给为前提而使点火时期最佳化,另一方面将检测或预测爆震的爆震传感器安装于发动机主体,并基于该爆震传感器的检测结果在可能发生爆震时延迟点火时期,则在高辛烷值燃料被供给至发动机主体时点火时期可最佳化,另一方面,在低辛烷值燃料被供给至发动机主体时为了避免爆震,而使点火时期与最佳的时期相比延迟。结果是,火花塞的点火时期根据燃料的辛烷值的差异而变更。

[0024] 在这样的根据燃料辛烷值变更点火时期的控制中,控制器在发动机主体的运行状态位于上述高负荷区域的低速域时,使与辛烷值的差异对应的点火时期的变更幅度相对地减小。

[0025] “相对地减小点火时期的变更幅度”换而言之是相对于最适合于高辛烷值燃料的点火时期,即使在被供给低辛烷值燃料时,也不延迟点火时期或者基本上不延迟点火时期。因为,如上所述,在发动机主体的运行状态位于高负荷区域的低速域时,将燃料的喷射时期设定在至少从压缩行程后期至膨胀行程初期的延迟时期。

[0026] 即,例如在进气行程中向汽缸内喷射燃料时,在压缩行程期间中温度及压力逐渐地上升的汽缸内的环境下,低辛烷值燃料与高辛烷值燃料相比化学反应速度快。其结果是,在通过火花点火开始燃烧后,低辛烷值燃料的情况下与高辛烷值燃料相比容易发生爆震。相对于此,将燃料的喷射时期设定在至少从压缩行程后期至膨胀行程初期的延迟的时期的原因是在低辛烷值燃料的化学反应速度变快的压缩行程期间中的汽缸内最初不存在燃料。因此,难以产生高辛烷值燃料和低辛烷值燃料的化学反应速度的差异。

[0027] 因此,在发动机主体的运行状态位于高负荷区域的低速域时,至少在从压缩行程后期至膨胀行程初期的延迟的时期以高燃料压力喷射燃料,以此即使是低辛烷值燃料,也与高辛烷值燃料相同地不容易发生爆震。因此,相对于燃料的辛烷值的差异,变更点火时期的幅度变小(即,点火时期不会被变更或者基本上不会被变更)。这一点在以高辛烷值燃料(例如高辛烷值汽油)的供给作为前提的发动机主体(即,高辛烷值规格的车辆)中,即使被供给低辛烷值的燃料(例如普通汽油)时,在抑制转矩的减少的方面也是有利的。

[0028] 相对于此,在发动机主体的运行状态位于高负荷区域的高速域时,控制器相对地扩大与辛烷值的差异对应的点火时期的变更幅度。换而言之,在被供给低辛烷值燃料时,使点火时期相对于最适合高辛烷值燃料的点火时期延迟。这是因为在高负荷区域的高速域

中,如上所述燃料喷射时期设定在至少从进气行程初期至压缩行程中期的期间内,而在被供给低辛烷值燃料时,相对容易发生爆震。

[0029] 也可以是所述控制器在高负荷区域中的所述低速域中,不论所述辛烷值的差异都使所述点火时期相同。

[0030] 通过这样,在高负荷区域的低速域中,不论被供给至发动机主体的燃料的辛烷值的差异,而将点火时期设定为相同,因此在例如对高辛烷值规格的车辆供给普通汽油时,也可以避免爆震的同时抑制转矩的减少。

[0031] 也可以是在能往复运动地内插在所述汽缸内的活塞的顶面上形成有凹状的腔室,所述控制器在所述高负荷区域中的所述低速域中,在将所述燃料喷射至所述腔室内的正时驱动所述燃料喷射阀。

[0032] 在高负荷区域的低速域中,通过向形成于活塞顶面的腔室内以高燃料压力喷射燃料,以此提高腔室内的气体的流动。这一点可提高空气利用率,并且迅速地形成可燃混合气,与此同时也有利于燃料期间的缩短。因此,可以使混合气在腔室内、换言之在紧凑的燃烧室内迅速地燃烧,并且能够更有效地避免爆震等的异常燃烧。这一点在被供给低辛烷值燃料时,也可以更有效地避免爆震等的异常燃烧,因此基本上不需要延迟以高辛烷值燃料为基准而最佳化的点火时期,能够抑制转矩的减少。

[0033] 也可以是在上述火花点火式直喷发动机中,所述燃料喷射阀是多喷口型,且配置在所述发动机主体的燃烧室的中央部分,并且设定为在所述高负荷区域中位于所述低速域时,在从所述压缩行程后期至膨胀行程初期的期间内,以辐射状向所述腔室内喷射燃料。

[0034] 又,也可以是在上述火花点火式直喷发动机中,所述控制器在所述发动机主体的运行状态位于所述规定的高负荷区域中的所述高速域时,通过所述燃料压力设定机构使所述燃料的压力为低于 30MPa 的低燃料压力,并且以至少在从进气行程至所述压缩行程中期的期间内执行燃料喷射的方式驱动所述燃料喷射阀。

[0035] 通过上述结构,由于在进气行程至压缩行程中期的期间内执行燃料喷射,因此不需要提高燃料的压力,可以省略提高燃料压力的无用的工作。即,包含燃料的气体其比热比相对低,因此,在高负荷区域的高速域中,即使在压缩行程中压缩包含燃料的气体也不容易产生异常燃烧。因此,根据上述结构,可以抑制汽缸内的气体的温度上升,并且可以将压缩上死点时的缸内气体温度(压缩上死点时温度)抑制得较低,因此不需要提高燃料压力。

[0036] 又,也可以是在上述火花点火直喷发动机中,所述控制器使所述发动机主体的运行状态位于规定的高负荷区域时的所述点火时期,在所述燃料的辛烷值相对低时与在所述燃料的辛烷值相对高时相比延迟;并且使与该辛烷值的差异相对应的所述点火时期的变更幅度,在所述高负荷区域中的所述低速域时与在所述高负荷区域中的所述高速域时相比,在时间间隔上小。

[0037] 又,也可以是在上述火花点火式直喷发动机中,对于一个汽缸设置有多个所述火花塞;所述控制器在所述发动机主体的运行状态位于所述规定的高负荷区域中的所述高速域时,分别驱动多个火花塞并执行多点点火。

[0038] 根据上述结构,在从进气行程至压缩行程中期的期间内执行燃料喷射的高负荷区域的高速域中,驱动多个火花塞并执行多点点火,以此在汽缸内制造多个火苗,并且火焰从各个火苗扩散而使火焰的扩散变快,从而能够缩短燃烧期间。因此,即使在燃料的辛烷值低

时点火时期大幅度延迟,也有利于提高热效率。换言之,通过该多点点火,在燃料的辛烷值低时能够大幅度延迟点火时期。

[0039] 如以上说明那样,该火花点火式直喷发动机在高负荷区域的低速域中,至少在从压缩行程至膨胀行程初期的期间内,以 30MPa 以上的较高的燃料压力向汽缸内喷射燃料,并执行火花点火,以此避免异常燃烧的同时谋求转矩的提高,另一方面,在高负荷区域的高速域中,至少在从进气行程初期至压缩行程中期的期间内喷射燃料,并执行火花点火,以此可以有效避免异常燃烧。又,在高负荷区域的低速域中,不论燃料的辛烷值的差异,都基本上不变更点火时期,因此避免异常燃烧,与此同时抑制转矩的减少。

附图说明

[0040] 图 1 是示出火花点火式直喷发动机的结构的概略图;

[0041] 图 2 是与火花点火式直喷发动机的控制相关的框图;

[0042] 图 3 是放大示出燃烧室的剖视图;

[0043] 图 4 是例示发动机的运行区域的图;

[0044] 图 5 中的(a)是在 CI 燃烧区域执行进气行程喷射时的燃料喷射时期的一个示例、和伴随与此的 CI 燃烧的热释放率的例示,图 5 中的(b)是在 CI 燃烧区域执行高压延迟喷射时的燃料喷射时期的一个示例、和伴随与此的 CI 燃烧的热释放率的例示,图 5 中的(c)是在 SI 燃烧区域执行高压延迟喷射时的燃料喷射时期及点火时期的一个示例、和伴随与此的 SI 燃烧的热释放率的例示,图 5 中的(d)是在 SI 燃烧区域执行进气行程喷射时的燃料喷射时期及点火时期的一个示例、和伴随与此的 SI 燃烧的热释放率的例示;

[0045] 图 6 是对通过高压延迟喷射的 SI 燃烧的状态和现有的 SI 燃烧的状态进行比较的图;

[0046] 图 7 是在通过高压延迟喷射执行 SI 燃烧时比较相对于辛烷值的差异的热释放率的图;

[0047] 符号说明:

[0048] 1 发动机(发动机主体);

[0049] 10 PCM(控制器);

[0050] 14 活塞;

[0051] 141 腔室;

[0052] 18 汽缸;

[0053] 25 火花塞;

[0054] 62 燃料供给系统(燃料压力设定机构);

[0055] 67 喷射器(燃料喷射阀)。

具体实施方式

[0056] 以下,基于附图说明火花点火式直喷发动机的实施形态。以下优选的实施形态的说明只是例示。图 1、图 2 示出发动机(发动机主体)1 的概略结构。该发动机 1 是装载在车辆中,且被供给至少含有汽油的燃料的火花点火式汽油发动机。发动机 1 具有设置有多个汽缸 18 的汽缸体 11(另外,在图 1 中尽管只图示一个汽缸,但是例如能够直列地设置四个

汽缸)、配设在该汽缸体 11 上的汽缸盖 12、和配设在汽缸体 11 的下侧并贮留润滑油的油底壳 13。在各汽缸 18 内嵌插有可往复运动的活塞 14, 该活塞 14 通过连杆 142 与曲轴 15 连接。在活塞 14 的顶面上, 如图 3 中放大示出那样形成有像柴油发动机中的凹腔(reentrant)型那样的腔室 141。腔室 141 在活塞 14 位于压缩上死点附近时, 与下述的喷射器 67 相对。汽缸盖 12、汽缸 18、和具有腔室 141 的活塞 14 区划成燃烧室 19。另外, 燃烧室 19 的形状并不限于图示的形状。例如腔室 141 的形状、活塞 14 的顶面形状、以及燃烧室 19 的顶部的形状等是可以适当改变的。

[0057] 该发动机 1 以理论热效率的改善、和下述的压缩点火燃烧的稳定化等为目的, 设定为 15 以上的比较高的几何压缩比。另外, 几何压缩比只要在 15 以上、20 以下程度的范围内适当设定即可。

[0058] 在汽缸盖 12 上, 对于每个汽缸 18 形成有进气道 16 及排气道 17, 并且在这些进气道 16 及排气道 17 上分别配设有开闭燃烧室 19 侧的开口的进气门 21 及排气门 22。

[0059] 在分别驱动进气门 21 及排气门 22 的配气机构内, 在排气侧上设置有将排气门 22 的工作模式在通常模式和特殊模式之间切换的、例如油压工作式的可变机构(参照图 2。以下称为 VVL (Variable Valve Lift ; 可变气门升程机构))71。VVL 71 其结构的详细图示省略, 但是其包含具有一个凸轮尖的第一凸轮和具有两个凸轮尖的第二凸轮的凸轮轮廓(cam profile) 不同的两种凸轮、以及将第一凸轮及第二凸轮中的任意一方的凸轮的工作状态选择性地向排气门传递的空转(lost motion)机构而构成。在将第一凸轮的工作状态传递至排气门 22 时, 排气门 22 以在排气行程中仅一次开阀的通常模式进行工作, 相对于此, 在将第二凸轮的工作状态传递至排气门 22 时, 排气门 22 以在排气行程中开阀的同时在进气行程中也开阀的所谓的排气的二度打开的特殊模式进行工作。VVL 71 的通常模式和特殊模式根据发动机的运行状态能够切换。具体的是, 在进行与内部 EGR 相关的控制时利用特殊模式。以下说明中, 可以将使 VVL 71 以通常模式工作而不执行排气二度打开的情况称为“关闭(off) VVL 71”, 并且可以将使 VVL 71 以特殊模式工作并执行排气二度打开的情况称为“开启(on) VVL 71”。另外, 在使这样的通常模式和特殊模式的切换成为可能的基础上, 也可以采用使排气门 22 通过电磁执行器驱动的电磁驱动式的配气机构。又, 内部 EGR 的执行并不仅仅通过排气二度打开实现。例如既可以两次打开进气门 21, 并通过进气的二度打开执行内部 EGR 控制, 也可以在排气行程或进气行程中设置关闭进气门 21 及排气门 22 的两者的负重叠(negative overlap) 期间并执行使已燃气体残留在汽缸 18 内的内部 EGR 控制。

[0060] 相对于具备 VVL 71 的排气侧的配气机构, 在进气侧上, 如图 2 所示设置有可改变相对于曲轴 15 的进气凸轮轴的旋转相位的相位可变机构(以下称为 VVT (variable valve timing ; 可变气门正时机构))72、和可连续地改变进气门 21 的升程量的升程量可变机构(以下称为 CVVL (Continuously Variable Valve Lift ; 连续可变气门升程机构))73。VVT 72 只要适当采用液压式、电磁式或机械式的公知的结构即可, 并且关于其详细的结构的图示省略。又, CVVL 73 也可以适当采用公知的各种结构, 并且关于其详细的结构的图示省略。根据 VVT 72 及 CVVL 73, 进气门 21 可以分别改变其开阀正时及闭阀正时、以及升程量。

[0061] 在汽缸盖 12 上, 又, 对于每个汽缸 18 安装有向汽缸 18 内直接喷射燃料的喷射器(燃料喷射阀)67。喷射器 67 如图 3 中放大示出那样, 配设为其喷口从燃烧室 19 的顶面中央部分面向该燃烧室 19 内。喷射器 67 在与发动机 1 的运行状态相对应地设定的喷射正时,

向燃烧室 19 内直接喷射与发动机 1 的运行状态相对应的量的燃料。在该示例中,喷射器 67 其详细的图示省略,但是是具有多个喷口的多喷口型的喷射器。借助于此,喷射器 67 将燃料喷射为使燃料喷雾从燃烧室 19 的中心位置以辐射状展开。如图 3 中用箭头所示那样,在活塞 14 位于压缩上死点附近的正时,从燃烧室 19 的中央部分以辐射状展开地被喷射的燃料喷雾沿着形成于活塞顶面的凹状的腔室 141 的壁面流动。换言之,可以是,腔室 141 形成成为在其内部容纳在活塞 14 位于压缩上死点附近的正时被喷射的燃料喷雾的结构。该多喷口型的喷射器 67 和腔室 141 的组合是有利于在燃料喷射后缩短混合形成期间并缩短燃烧期间的结构。另外,喷射器 67 不限于多喷口型的喷射器,也可以采用外开阀类型的喷射器。

[0062] 未图示的燃料箱和喷射器 67 之间通过燃料供给路径相连接。在该燃料供给路径上设有包含燃料泵 63 和共轨(common rail)64,且能够以比较高的燃料压力向喷射器 67 供给燃料的燃料供给系统 62。该燃料供给系统 62 构成燃料压力设定机构。燃料泵 63 从燃料箱向共轨 64 压送燃料,并且共轨 64 能够将被压送的燃料以比较高的燃料压力储存。通过使喷射器 67 开阀,储存在共轨 64 中的燃料从喷射器 67 的喷口喷射。在这里,燃料泵 63 尽管其图示省略,但是是柱塞式的泵,并且由发动机 1 驱动。包含该发动机驱动的泵的结构燃料供给系统 62 能够将 30MPa 以上的较高的燃料压力的燃料向喷射器 67 供给。燃料压力最大也可以设定为 120MPa 左右。向喷射器 67 供给的燃料的压力如下所述那样能够根据发动机 1 的运行状态进行改变。另外,燃料供给系统 62 并不限于该结构。

[0063] 在汽缸盖 12 上,如图 3 所示那样还安装有对燃烧室 19 内的混合气点火的火花塞 25。火花塞 25 在该示例中,配置为以从发动机 1 的排气侧向斜下方延伸的方式贯通汽缸盖 12 内。如图 3 所示,火花塞 25 的梢端配置为面向位于压缩上死点的活塞 14 的腔室 141 内。

[0064] 发动机 1 的一侧面如图 1 所示与各汽缸 18 的进气道 16 连通地与进气通路 30 连接。另一方面,发动机 1 的另一侧面与排来自各汽缸 18 的燃烧室 19 的已燃气体(排气)的排气通路 40 连接。

[0065] 在进气通路 30 的上游端部配设有过滤吸入空气的空气滤清器 31。又,在进气通路 30 中的下游端附近配设有缓冲罐 33。比该缓冲罐 33 靠近下游侧的进气通路 30 形成为向每个汽缸 18 分叉的独立通路,并且这些各独立通路的下游端分别与各汽缸 18 的进气道 16 连接。

[0066] 在进气通路 30 中的空气滤清器 31 和缓冲罐 33 之间配设有冷却或加热空气的水冷式的中冷器/加温器 34、和调节向各汽缸 18 的吸入空气量的节气门 36。进气通路 30 又与绕过中冷器/加温器 34 的中冷器旁通通路 35 连接,在该中冷器旁通通路 35 上配设有用于调节通过该通路 35 的空气流量的中冷器旁通阀 351。通过中冷器旁通阀 351 的开度调节,调节中冷器旁通通路 35 的通过流量和中冷器/加温器 34 的通过流量的比例,以此可以调节导入汽缸 18 的新气的温度。

[0067] 排气通路 40 的上游侧的部分由具有向各汽缸 18 分叉而与排气道 17 的外侧端连接的独立通路、和集合该各独立通路的集合部的排气歧管构成。该排气通路 40 中排气歧管的下游侧分别与作为净化排气中的有害成分的排气净化装置的直接催化器(catalyst) 41 和底板催化器(underfoot catalyst) 42 相连接。直接催化器 41 及底板催化器 42 各自具备筒状壳体、和配置在其壳体内的流路上的例如三元催化器而构成。

[0068] 进气通路 30 中缓冲罐 33 和节气门 36 之间的部分与排气通路 40 中直接催化器 41 的上游侧的部分,通过用于将排气的一部分回流至进气通路 30 的 EGR 通路 50 相连接。该 EGR 通路 50 包含配设有用于将排气通过发动机冷却水进行冷却的 EGR 冷却器 52 的主通路 51、和用于绕过 EGR 冷却器 52 的 EGR 冷却器旁通通路 53 而构成。在主通路 51 中配设有用于调节排气向进气通路 30 的回流量的 EGR 阀 511,在 EGR 冷却器旁通通路 53 中配设有用于调节在 EGR 冷却器旁通通路 53 中流通的排气的流量的 EGR 冷却器旁通阀 531。

[0069] 这样构成的发动机 1 通过动力控制模块(以下称为 PCM (Powertrain Control Module)) 10 控制。PCM 10 由具有 CPU、存储器、计数器定时器(counter timer)群、接口及连接这些单元的总线的微处理器构成。该 PCM 10 构成控制器。

[0070] 对 PCM 10 如图 1、图 2 所示输入各种传感器 SW1 ~ SW16 的检测信号。在该各种传感器中包含以下传感器。即、在空气滤清器 31 的下游侧,检测新气的流量的空气流量传感器 SW1 及检测新气的温度的进气温度传感器 SW2;配置于中冷器/加热器 34 的下游侧,且检测通过中冷器/加热器 34 后的新气的温度的第二进气温度传感器 SW3;配置于 EGR 通路 50 的与进气通路 30 的连接部附近,且检测外部 EGR 气体的温度的 EGR 气体温度传感器 SW4;安装于进气道 16 上,且检测即将流入汽缸 18 内之前的进气的温度的进气道温度传感器 SW5;安装于汽缸盖 12 上,且检测汽缸 18 内的压力的缸内压力传感器 SW6;配置于排气通路 40 的与 EGR 通路 50 的连接部附近,且分别检测排气温度及排气压力的排气温度传感器 SW7 及排气压力传感器 SW8;配置于直接催化器 41 的上游侧,且检测排气中的氧浓度的线性 O₂传感器 SW9;配置于直接催化器 41 和底板催化器 42 之间,且检测排气中的氧浓度的 λ 型 O₂传感器 SW10;检测发动机冷却水的温度的水温传感器 SW11;检测曲轴 15 的旋转角的曲轴角传感器 SW12;检测与车辆的加速器踏板(图示省略)的操作量相对应的加速器开度的加速器开度传感器 SW13;进气侧及排气侧的凸轮角传感器 SW14、SW15;以及安装于燃料供给系统 62 的共轨 64 上,且检测向喷射器 67 供给的燃料压力的燃料压力传感器 SW16。

[0071] 又,如图 1 所示,在发动机 1 的汽缸体 11 上安装有通过检测汽缸体 11 的振动,以此检测出或者预测爆震的发生的爆震传感器 SW17,该爆震传感器 SW17 的检测值也如图 2 所示输入至 PCM 10 中。

[0072] PCM 10 基于这些检测信号执行各种运算,以判定发动机 1 和车辆等的状态,并且根据此状态向喷射器 67、火花塞 25、进气门侧的 VVT 72 及 CVVL 73、排气门侧的 VVL 71、燃料供给系统 62 以及各种阀(节气门 36、中冷器旁通阀 351、EGR 阀 511 以及 EGR 冷却器旁通阀 531)的执行器输出控制信号。这样 PCM 10 运行发动机 1。

[0073] 图 4 示出发动机 1 的运行区域的一个示例。该发动机 1 以燃料消耗量的改善和排气排放性能的改善等为目的,在发动机负荷相对低的低负荷域中,不执行通过火花塞 25 的点火,而执行通过压缩自动点火进行燃烧的压缩点火燃烧。然而,随着发动机 1 的负荷增高,在压缩点火燃烧中,燃烧过度急剧地进行,从而引起例如燃烧噪声等问题。因此,在该发动机 1 中,在发动机负荷相对高的高负荷域中,停止压缩点火燃烧,而切换为利用火花塞 25 的火花点火燃烧。像这样,该发动机 1 形成为根据发动机 1 的运行状态,尤其是根据发动机 1 的负荷,在执行压缩点火燃烧的 CI (Compression Ignition;压缩点火)模式、和执行火花点火燃烧的 SI (Spark Ignition;火花点火)模式之间切换的结构。然而,模式切换的边界线并不限于图中的示例。

[0074] CI 模式进一步根据发动机负荷的高低分为三个区域。具体地说,在 CI 模式下负荷最低的区域(1)中,为了提高压缩点火燃烧的点火性及稳定性,将相对温度高的热 EGR 气体导入至汽缸 18 内。这是通过开启 VVL 71 并执行在进气行程中将排气门 22 开阀的排气的二度打开而实现。热 EGR 气体的导入有利于提高汽缸 18 内的压缩上死点时温度,并且有利于在作为低负荷的区域(1)中提高压缩点火燃烧的点火性及稳定性。又,在区域(1)中,如图 5(a)所示,至少在从进气行程至压缩行程中期的期间内,喷射器 67 向汽缸 18 内喷射燃料,以此形成均质的稀(lean)混合气。混合气的空气过剩率 λ 也可以例如设定为 2.4 以上,通过这样做,可以抑制 RawNOx 的产生,提高排气排放性能。因此,该稀混合气如图 5(a)所示,在压缩上死点附近实现压缩自动点火。

[0075] 在区域(1)中的负荷较高的区域、具体的是包含区域(1)和区域(2)的边界的区域中,至少在从进气行程至压缩行程中期的期间内,向汽缸 18 内喷射燃料,而将混合气的空燃比设定为理论空燃比($\lambda \approx 1$)。通过设定为理论空燃比,以此可以利用三元催化器,并且如下所述那样,在 SI 模式下也使混合气的空燃比为理论空燃比,因此在 SI 模式和 CI 模式之间切换时的控制变得简单,进而有利于将 CI 模式扩大至高负荷侧。

[0076] 在 CI 模式中,在与区域(1)相比负荷较高的区域(2)中,与区域(1)的高负荷侧相同地至少在从进气行程至压缩行程中期的期间内,向汽缸 18 内喷射燃料(参照图 5(a)),从而形成均质的理论空燃比($\lambda \approx 1$)的混合气。

[0077] 又,在区域(2)中,伴随着发动机负荷的上升而使汽缸 18 内的温度自然提高,因此为了避免过早点火而使热 EGR 气体量下降。这是通过调节进气门 21、排气门 22 的开闭阀时期,以此调节导入汽缸 18 内的内部 EGR 气体量而实现的。又,通过调节绕过 EGR 冷却器 52 的外部 EGR 气体量,以此也能够调节热 EGR 气体量。

[0078] 在区域(2)中,还向汽缸 18 内导入相对温度低的冷却的(cooled)EGR 气体。这样将高温的热 EGR 气体和低温的冷却的 EGR 气体以适当的比例导入至汽缸 18 内,以此实现适当的汽缸 18 内的压缩上死点时温度,并且确保压缩点火的点火性的同时避免急剧的燃烧,从而谋求压缩点火燃烧的稳定化。另外,对于作为将热 EGR 气体及冷却的 EGR 气体加在一起的、导入至汽缸 18 内的 EGR 气体的比例的 EGR 率,在将混合气的空燃比设定为 $\lambda \approx 1$ 的条件下设定为尽可能高的 EGR 率。因此,在区域(2)中,随着发动机负荷的增大而燃料喷射量增大,因此 EGR 率逐渐地下降。

[0079] 在包含 CI 模式和 SI 模式的切换边界线的、CI 模式中负荷最高的区域(3)中,汽缸 18 内的压缩上死点时温度进一步提高,因此如区域(1)和区域(2)那样,在从进气行程至压缩行程中期的期间内向汽缸 18 内喷射燃料时,发生过早点火等的异常燃烧。另一方面,试图大量导入温度低的冷却的 EGR 气体而使汽缸内的压缩上死点时温度下降时,这样会导致压缩点火的点火性恶化。即,仅通过汽缸 18 内的温度控制不能稳定地执行压缩点火燃烧,因此在该区域(3)中,除了想到汽缸 18 内的温度控制以外,还想到燃料喷射形态以此避免过早点火等的异常燃烧,并且谋求压缩点火燃烧的稳定化。具体的是,该燃料喷射形态是如图 5(b)所示那样至少在从压缩行程后期至膨胀行程初期的期间(以下,将该期间称为延迟(retard)期间)内,以与以往相比大幅度高压化的燃料压力执行向汽缸 18 内的燃料喷射的形态。将该特征的燃料喷射形态在以下称为“高压延迟喷射”或简单称为“延迟喷射”。通过这样的高压延迟喷射,避免区域(3)中的异常燃烧,同时谋求压缩点火燃烧的稳定化。关

于该高压延迟喷射的具体内容在下面说明。

[0080] 在区域(3)中,与区域(2)相同地,将高温的热 EGR 气体和低温的冷却的 EGR 气体以适当的比例导入至汽缸 18 内。借助于此,实现适当的汽缸 18 内的压缩上死点时温度并谋求压缩点火燃烧的稳定化。

[0081] 相对于根据发动机负荷的高低分为三个区域的 CI 模式,SI 模式根据发动机转速的高低分为区域(4)和区域(5)的两个区域。区域(4)在图例中,相当于将发动机 1 的运行区域划分为低速、高速两个区域时的低速域,区域(5)相当于高速域。又,区域(4)和区域(5)的边界在图 4 所示的运行区域中,相对于负荷的高低向转速方向倾斜,但是区域(4)和区域(5)的边界并不限于图例。

[0082] 在区域(4)及区域(5)的各个区域中,混合气与区域(2)及区域(3)相同地设定为理论空燃比($\lambda \approx 1$)。因此,混合气的空燃比在跨越 CI 模式和 SI 模式之间的边界的范围内为一定的理论空燃比($\lambda \approx 1$)。这将使三元催化器的利用成为可能。又,在区域(4)及区域(5)中,基本上使节气门 36 全开,另一方面通过 EGR 阀 511 的开度调节而调节导入至汽缸 18 内的新气量及外部 EGR 气体量。这样调节导入至汽缸 18 内的气体比例的做法,能够谋求泵送损失(pumping loss)的降低,并且通过向汽缸 18 内导入大量的 EGR 气体,以此火花点火燃烧的燃烧温度被抑制得较低而也能够谋求冷却损失的降低。在区域(4)及区域(5)中,主要是将通过 EGR 冷却器 52 冷却的外部 EGR 气体导入至汽缸 18 内。借助于此,有利于异常燃烧的避免,并且也有抑制 RawNOx 的产生的优点。另外,在全开负荷域中,通过使 EGR 阀 511 闭阀,以此使外部 EGR 为零。

[0083] 该发动机 1 的几何压缩比如上所述被设定为 15 以上(例如 18)。较高的压缩比提高压缩上死点时温度及压缩上死点时压力,因此在 CI 模式、尤其是低负荷的区域(例如,区域(1))中,有利于压缩点火燃烧的稳定化。另一方面,该高压压缩比发动机 1 在作为高负荷域的 SI 模式中,存在容易发生过早点火和爆震等的异常燃烧的问题。

[0084] 因此,该发动机 1 在 SI 模式的低速侧的区域(4)中,通过执行上述的高压延迟喷射,以此能够避免异常燃烧。更详细的是,在区域(4)中,如图 5(c)所示仅执行高压延迟喷射,即,在从压缩行程后期至膨胀行程初期的延迟期间内,以 30MPa 以上的较高的燃料压力执行向汽缸 18 内的燃料喷射。

[0085] 接着,参照图 6 说明 SI 模式中的高压延迟喷射。图 6 是在通过上述的高压延迟喷射的 SI 燃烧(实线)和在进气行程中执行燃料喷射的现有的 SI 燃烧(虚线)中,比较热释放率(上图)及未燃混合气反应进度(下图)的差异的图。图 6 的横轴是曲轴角。作为该比较的前提,发动机 1 的运行状态都是高负荷的低速域(即,区域(4)),喷射的燃料量在通过高压延迟喷射的 SI 燃烧和现有的 SI 燃烧的情况下彼此相同。

[0086] 首先,在现有的 SI 燃烧中,在进气行程中执行向汽缸 18 内的规定量的燃料喷射(上图的虚线)。在汽缸 18 内,在该燃料的喷射后直至活塞 14 到达压缩上死点的期间内形成比较均质的混合气。而且,在该示例中,在压缩上死点以后的、用圆圈表示的规定的正时执行点火,由此开始燃烧。燃烧开始后,如图 6 的上图中的虚线所示,经过热释放率的峰值后燃烧结束。从燃料喷射开始至燃烧结束的期间相当于未燃混合气的可反应时间(以下,简单地可以称为可反应时间),如图 6 的下图中的虚线所示,在该期间未燃混合气的反应逐渐地进行。上述图中的点线表示作为未燃混合气达到点火的反应进度的点火阈值,现有的 SI

燃烧与作为低速域这样的情况相结合,可反应时间非常长,该期间未燃混合气的反应继续进行,因此在点火前后未燃混合气的反应进度超过点火阈值,从而引起过早点火或爆震等异常燃烧。

[0087] 相对于此,高压延迟喷射的目的是谋求缩短可反应时间,借助于此避免异常燃烧。即,可反应时间是如图 6 中也示出那样为将喷射器 67 喷射燃料的期间((1)喷射期间)、喷射结束后直至在火花塞 25 周围形成可燃混合气的期间((2)混合气形成期间)、通过点火而开始直至燃烧结束的期间((3)燃烧期间)相加的时间,即、是(1)+(2)+(3)。高压延迟喷射分别缩短喷射期间、混合气形成期间及燃烧期间,借助于此,缩短可反应时间。关于这一点依次进行说明。

[0088] 首先,较高的燃料压力相对地提高单位时间内从喷射器 67 喷射的燃料量。因此,在使燃料喷射量为一定的量时,燃料压力和燃料的喷射期间之间的关系大致是燃料压力越低而喷射期间越长,燃料压力越高而喷射期间越短。因此,燃料压力与以往相比设定为大幅度提高的值的的高压延迟喷射会缩短喷射期间。

[0089] 又,较高的燃料压力有利于向汽缸 18 内喷射的燃料喷雾的微粒化,与此同时使燃料喷雾的飞散距离更长。因此,燃料压力和燃料蒸发时间之间的关系大致是燃料压力越低而燃料蒸发时间越长,燃料压力越高而燃料蒸发时间越短。又,燃料压力和燃料喷雾直至到达火花塞 25 的周围的时间大致是燃料压力越低而直至到达的时间越长,燃料压力越高而直至到达的时间越短。混合气形成期间是将燃料蒸发时间、和燃料喷雾到达火花塞 25 的周围的时间相加的时间,因此燃料压力越高而混合气形成期间越短。因此,燃料压力与以往相比设定为大幅度提高的值的的高压延迟喷射分别缩短燃料蒸发时间及燃料喷雾到达火花塞 25 的周围的时间,其结果是,缩短混合气形成期间。相对于此,如在上述图中用圆圈表示那样,现有的以低燃料压力执行的进气行程喷射使混合气形成期间大幅度变长。另外,多喷口型的喷射器 67 和腔室 141 的组合在 SI 模式中,缩短在燃料喷射后燃料喷雾直至到达火花塞 25 的周围的时间,其结果是,有效地缩短混合气形成期间。

[0090] 像这样,喷射期间及混合气形成期间的缩短可以使燃料喷射正时、更正确的是使喷射开始正时为比较延迟的正时。因此,在高压延迟喷射中,如图 6 中的上图所示,在从压缩行程后期至膨胀行程初期的延迟期间内执行燃料喷射。随着以较高的燃料压力向汽缸 18 内喷射燃料,该汽缸内的湍流增强,并且汽缸 18 内的湍流能量增高,但是该较高的湍流能量与燃料喷射正时设定为比较延迟的正时的情况相结合,有利于缩短燃烧期间。

[0091] 即,在延迟期间内执行燃料喷射时,燃料压力与燃烧期间内的湍流能量之间的关系大致是燃料压力越低而湍流能量越低,燃料压力越高而湍流能量越高。在这里,假设即使以较高的燃料压力向汽缸 18 内喷射燃料,但是在其喷射正时位于进气行程中的情况下是因直至到达点火正时的时间变长、和在进气行程后的压缩行程中汽缸 18 内部被压缩,而使汽缸 18 内的湍流衰减。其结果是,在进气行程中执行燃料喷射的情况下,不论燃料压力的高低与否,燃烧期间内的湍流能量相对降低。

[0092] 燃烧期间内的湍流能量和燃烧期间之间的关系大致是湍流能量越低而燃烧期间越长,并且湍流能量越高而燃烧期间越短。因此,燃料压力和燃烧期间之间的关系是燃料压力越低而燃烧期间越长,燃料压力越高而燃烧期间越短。即,高压延迟喷射会缩短燃烧期间。相对于此,现有的以较低的燃料压力执行的进气行程喷射使燃烧期间变长。另外,多喷

口型的喷射器 67 有利于汽缸 18 内的湍流能量的提高,对燃烧期间的缩短是有效的,并且通过该多喷口型的喷射器 67 和腔室 141 的组合而将燃料喷雾收纳于腔室 141 内的方式对燃烧期间的缩短也是有效的。

[0093] 像这样,高压延迟喷射分别缩短喷射期间、混合气形成期间以及燃烧期间,其结果是,如图 6 所示,可以将从燃料的喷射开始正时 SOI 至燃烧结束时期 θ_{end} 的未燃混合气的可反应时间与现有的在进气行程中执行燃料喷射的情况相比大幅度缩短。缩短该可反应时间的结果是,如图 6 的上段所示的图那样,在现有的以较低的燃料压力执行的进气行程喷射中,如用圆圈所示那样燃烧结束时的未燃混合气的反应进度超过点火阈值,而发生异常燃烧,而高压延迟喷射如用黑圆点所示那样抑制燃烧结束时的未燃混合气的反应的进行,可以避免异常燃烧。另外,点火正时是利用图 6 的上图中的圆圈和黑圆点设定为彼此相同的正时。

[0094] 燃料压力例如设定为 30MPa 以上,以此可以有效地缩短燃烧期间。又,30MPa 以上的燃料压力也可以分别有效地缩短喷射期间及混合气形成期间。另外,优选的是燃料压力根据至少含有汽油的使用燃料的特性适当设定。作为其上限值的一例也可以设定为 120MPa。

[0095] 高压延迟喷射通过研究向汽缸 18 内的燃料喷射的形态而避免 SI 模式下的异常燃烧的发生。与此不同的以异常燃烧的避免为目的延迟点火正时的方法是一直以来已知的。点火正时的延迟化通过抑制未燃混合气的温度及压力的上升,以此抑制其反应的进行。然而,点火正时的延迟化导致热效率及转矩的下降,相对于此执行高压延迟喷射的情况下,通过对燃料喷射形态的研究避免异常燃烧,与此相应地可以提前点火正时,因此可提高热效率及转矩。即,高压延迟喷射不仅可避免异常燃烧,且与该避免相应地可以提前点火正时,有利于燃料消耗量的改善。

[0096] 如以上已说明那样,在 SI 模式下的高压延迟喷射可以分别缩短喷射期间、混合气形成期间以及燃烧期间,但是在 CI 模式的区域(3)中执行的高压延迟喷射可以分别缩短喷射期间及混合气形成期间。即,通过向汽缸 18 内以较高的燃料压力喷射燃料使汽缸 18 内的湍流增强,以此微粒化的燃料的混合性提高,并且即使在压缩上死点附近的延迟正时喷射燃料,也可以迅速地形成比较均质的混合气。

[0097] 在 CI 模式下的高压延迟喷射在负荷比较高的区域中,通过在压缩上死点附近的延迟的正时喷射燃料,以此例如防止压缩行程期间中的过早点火,并且如上所述迅速地形成大致均质的混合气,因此在压缩上死点以后,可以确实地进行压缩点火。像这样,在因发动机旋转(motoring)而使汽缸 18 内的压力逐渐下降的膨胀行程期间内,通过执行压缩点火燃烧,以此使燃烧变得缓慢,从而避免随着压缩点火燃烧引起的汽缸 18 内的压力上升(dP/dt)急剧地进行的情况。这样,解除 NVH(noise vibration harshness; 噪声、振动、声振粗糙度)的制约的结果是将 CI 模式的区域扩大至高负荷侧。

[0098] 返回到 SI 模式的说明,如上所述 SI 模式的高压延迟喷射通过在延迟期间内执行燃料喷射以此缩短未燃混合气的可反应时间,但是由于燃料喷射时期设定在压缩上死点附近,因此在压缩行程中,被压缩的是不包含燃料的缸内气体、换而言之是比热比高的空气。其结果是,在高速域中,汽缸 18 内的压缩上死点时温度增高,从而该较高的压缩上死点时温度导致爆震。因此,在区域(5)中仅执行延迟喷射时,也可能发生必须使点火正时延迟化,

以此避免爆震的情况。

[0099] 因此,在 SI 模式下转速相对高的区域(5)中,如图 5(d)所示那样,不执行延迟喷射而在进气行程期间内向汽缸 18 内喷射燃料。在这里所说的进气行程期间不是基于活塞位置定义的期间,只要基于进气门 21 的开闭而设定为进气门 21 处于开阀的状态的期间即可。即,在这里所说的进气行程期间因通过 CVVL 73 和 VVT 72 等被改变的进气门 21 的闭阀时期,而存在相对于活塞到达进气下死点的时刻偏离的情况。换言之,在区域(5)中,在从进气行程至压缩行程中期的期间内喷射燃料。

[0100] 进气行程喷射降低压缩行程中的缸内气体(即,包含燃料的混合气)的比热比,借助于此可以抑制压缩上死点时温度以使其较低。压缩上死点时温度降低,以此可以抑制爆震,因此可以使点火正时提前。这样,在区域(5)中,通过执行进气行程喷射,以此可以避免异常燃烧,并且可以提高热效率。

[0101] 另外,在高旋转侧的区域(5)中,为了缩短燃烧期间,也可以在发动机 1 中设置多点点火结构。即,将多个火花塞面向燃烧室内地配置,在区域(5)中执行进气行程喷射,与此同时分别驱动其多个火花塞,以此执行多点点火。这样,火焰会从燃烧室 19 内的多个火苗分别地扩散,因此火焰的扩散快而缩短燃烧期间。其结果是,在高旋转侧的区域(5)中缩短燃烧期间,有利于热效率的改善。

[0102] (爆震控制)

[0103] 为了检测或预测发动机 1 中的爆震的发生而避免爆震的发生,PCM 10 基于爆震传感器 SW17 的输出信号,而执行使点火时期相对于使发动机转矩变得最大地预先设定的基本点火时期延迟的爆震控制。在这里,因向发动机 1 供给的燃料的辛烷值,抗爆震性改变,而辛烷值较高的燃料(例如高辛烷值汽油)与辛烷值低的燃料(例如普通汽油)相比,难以发生爆震。因此,在以使用高辛烷值汽油为前提的高辛烷值规格的车辆中,上述基本点火时期与以使用普通汽油为前提的车辆相比相对地设定在提前侧。

[0104] 在这样的高辛烷值规格的车辆中,在向发动机 1 供给普通汽油时,如果是一般的车辆,就会容易发生爆震。PCM 10 通过上述的爆震控制的介入,根据爆震传感器 SW17 的检测信号使点火时期与基本点火时期相比延迟。

[0105] 然而,在装载上述发动机 1 的车辆中,在发动机 1 的运行状态位于区域(4)时,通过执行高压延迟喷射,以此即使是普通汽油、高辛烷值汽油,也能够有效地避免爆震等的异常燃烧。即,例如在进气行程中向汽缸 18 内喷射燃料时,在之后的压缩行程期间中温度及压力逐渐地上升的汽缸内的环境下,辛烷值相对低的普通汽油与辛烷值相对高的高辛烷值汽油相比,化学反应速度提高。其结果是,在通过火花点火开始燃烧后,普通汽油的情况下与高辛烷值汽油相比容易发生爆震。

[0106] 相对于此,在将燃料的喷射时期设定在至少从压缩行程后期至膨胀行程初期的延迟的时期的延迟喷射中,在普通汽油的化学反应速度快的压缩行程期间中的汽缸 18 内,最初不存在燃料。因此,不容易发生高辛烷值汽油和普通汽油的化学反应速度的差异。

[0107] 因此,在高辛烷值规格的车辆中,即使在向发动机 1 供给普通汽油时,发动机 1 的运行状态位于区域(4)时,则不容易发生爆震,因此点火时期也与基本点火时期相比不延迟或者基本上不延迟。其结果是,随着普通汽油的供给而转矩的减少被抑制。

[0108] 在这里,参照图 7,在普通汽油和高辛烷值汽油中,比较通过高压延迟喷射执行 SI

燃烧时的热释放率。在图 7 中,实线为 91RON,即对应于普通汽油,该图中的虚线为 100RON,即对应于高辛烷值汽油。另外,对于两种燃料,燃料喷射期间如该图所示那样在压缩上死点附近彼此设定为相同,点火时期也在压缩上死点后的规定时期彼此设定为相同。因此,对于两种燃料,从喷射开始时期至点火时期的混合气形成期间相同。

[0109] 首先,探讨高辛烷值汽油,如上所述,随着从压缩上死点前的规定正时开始向汽缸 18 内喷射燃料,在之后的规定期间因汽缸 18 内存在液滴燃料而使热释放率成为负值。在高辛烷值汽油的情况下,以保持负值的热释放率的状态达到点火正时,并执行火花点火,以此热焰反应开始而使热释放率上升。

[0110] 相对于此,在普通汽油的情况下,与高辛烷值汽油相同地,随着从压缩上死点前的规定正时开始向汽缸 18 内喷射燃料而成为负值的热释放,但是在普通汽油的情况下,在燃料喷射期间结束后,发生低温氧化反应,热释放率转为上升。然而,通过采用高压延迟喷射,缩短从燃料喷射开始至点火的期间,因此在到达自动点火之前执行火花点火,从而在与高辛烷值汽油的情况相同的正时开始热焰反应,并且使热释放率上升。比较图 7 的实线和虚线即可明白,普通汽油时的热释放率的上升和高辛烷值汽油时的热释放率的上升不存在实质上的差异。换言之,即使像高辛烷值汽油的情况那样不发生低温氧化反应,但是高压延迟喷射通过火花点火也能够得到规定的点火性。

[0111] 因此,在高辛烷值规格的车辆中,即使向发动机 1 供给普通汽油,在执行高压延迟喷射的 SI 燃烧的区域(4),不延迟点火时期,也能够避免爆震的发生,又能够避免转矩的下降。

[0112] 相对于此,在作为不执行高压延迟喷射的 SI 燃烧区域的区域(5)中,由于在进气行程期间中执行燃料喷射,因此在被供给普通汽油时容易发生爆震。PCM 10 根据爆震传感器 SW17 的检测信号使点火时期延迟。

[0113] 因此,在该发动机 1 中,在作为高负荷侧的低速域的区域(4)中,以 30MPa 以上的高燃料压力在至少从压缩行程后期至膨胀行程初期的延迟期间内执行燃料喷射,并且在完成该燃料喷射后,在规定的正时驱动火花塞,另一方面,在高负荷侧的高速域的区域(5)中,尽管在至少从进气行程初期至压缩行程中期的期间内执行燃料喷射,并且在压缩上死点附近的规定正时驱动火花塞,(参照图 4 及图 5 (c)、图 5 (d)),但是在区域(4)中,与辛烷值的差异相对应地使点火时期产生差异的幅度、即点火延迟的曲轴角量或者点火延迟的时间,与在区域(5)中的点火延迟的曲轴角量或点火延迟的时间相比小。或者,在区域(4)中,点火时期相对于辛烷值的差异设定为相同。

[0114] 又,尤其是,如上所述,在高压延迟喷射时,从多喷口的喷射器 67 向活塞顶面的腔室 141 内喷射燃料,因此腔室 141 内的气体的流动增强,从而提高空气利用率,与此同时可以迅速地形成可燃混合气。又,通过腔室 141 内的紧凑的燃烧室可以使混合气迅速地燃烧。这样,即使被供给辛烷值相对低的普通汽油,也能够更有效地避免爆震等的异常燃烧,因此抑制转矩的减少。

[0115] 另外,在这里公开的技术并不限于适用于上述的发动机结构中。例如,进气行程期间内的燃料喷射也可以通过额外的设置于进气道 16 的进气道喷射器而不是设置于汽缸 18 内的喷射器 67,向进气道 16 内喷射燃料。

[0116] 又,发动机 1 并不限于直列四汽缸发动机,也可以适用于直列三汽缸、直列二汽

缸、直列六汽缸发动机等。又,也可以适用于 V 型六汽缸、V 型八汽缸、水平对置四汽缸等的各种发动机中。

[0117] 此外,在上述说明中,在规定的运行区域将混合气的空燃比设定为理论空燃比 ($\lambda \approx 1$),但是也可以将混合气的空燃比设定得稀。然而,将空燃比设定为理论空燃比具有能够利用三元催化器的优点。

[0118] 图 4 所示的运行区域只是例示,除此以外也可以设置各种运行区域。

[0119] 又,高压延迟喷射也可以根据需要分次喷射,同样地,进气行程喷射也可以根据需要分次喷射。这些分次喷射也可以在进气行程和压缩行程中分别喷射燃料。

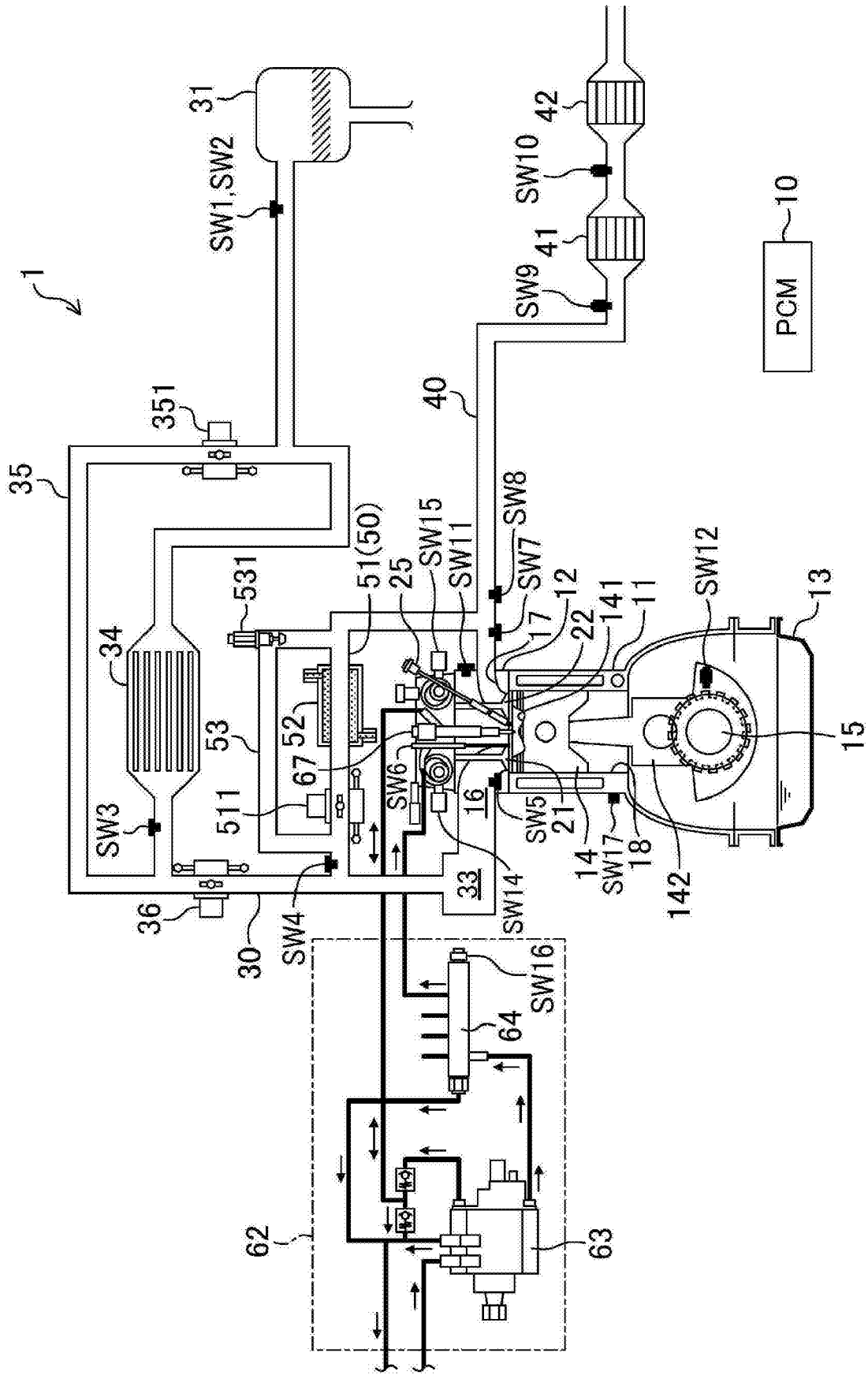


图 1

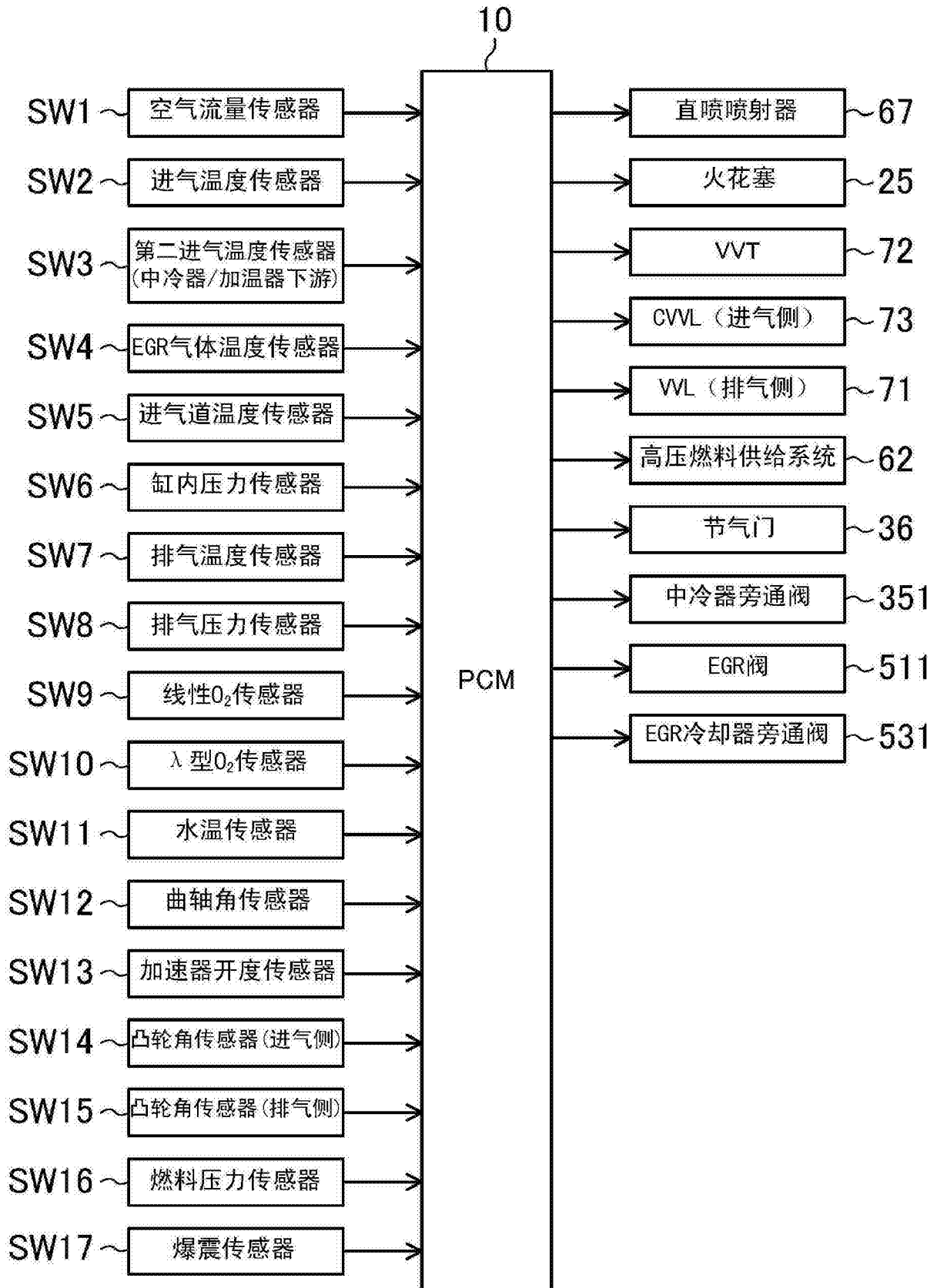


图 2

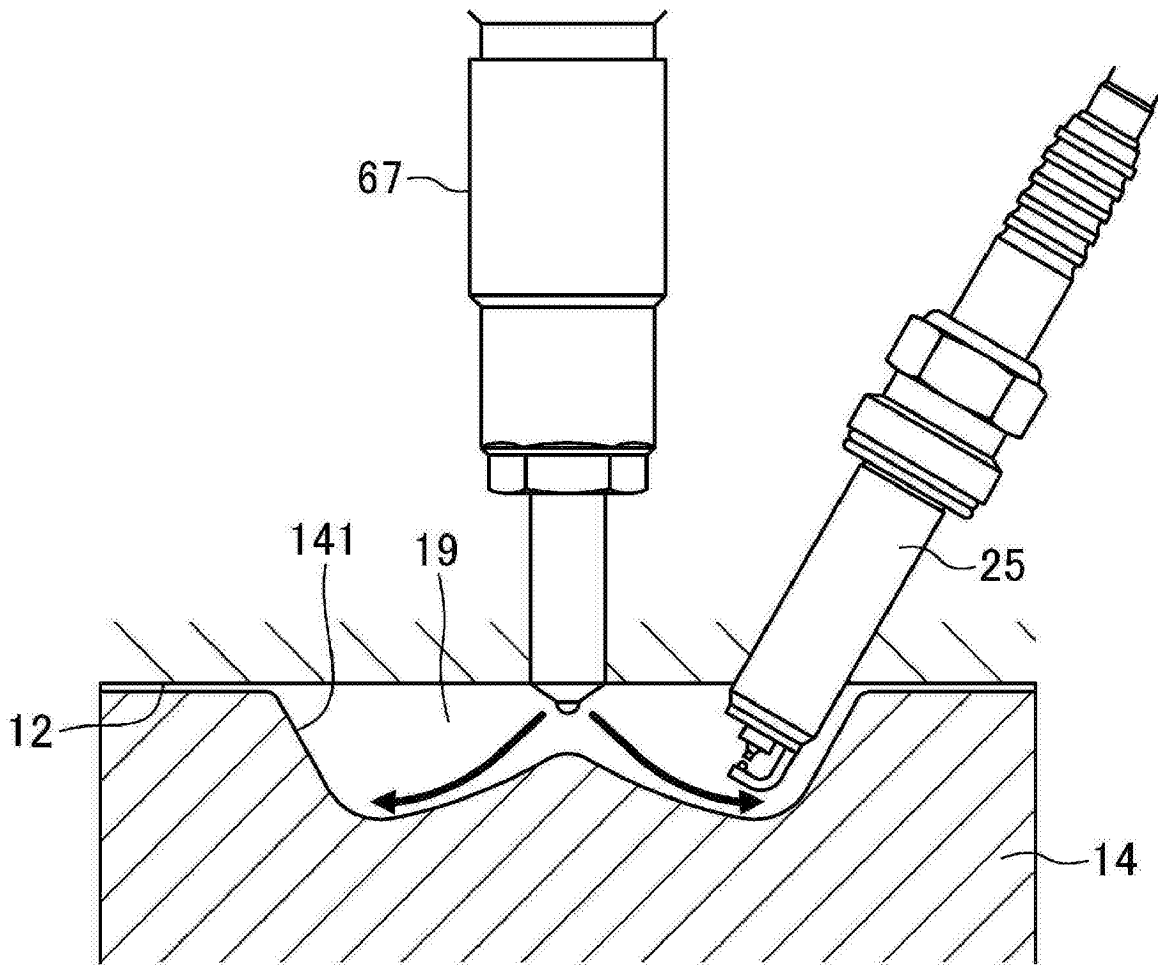


图 3

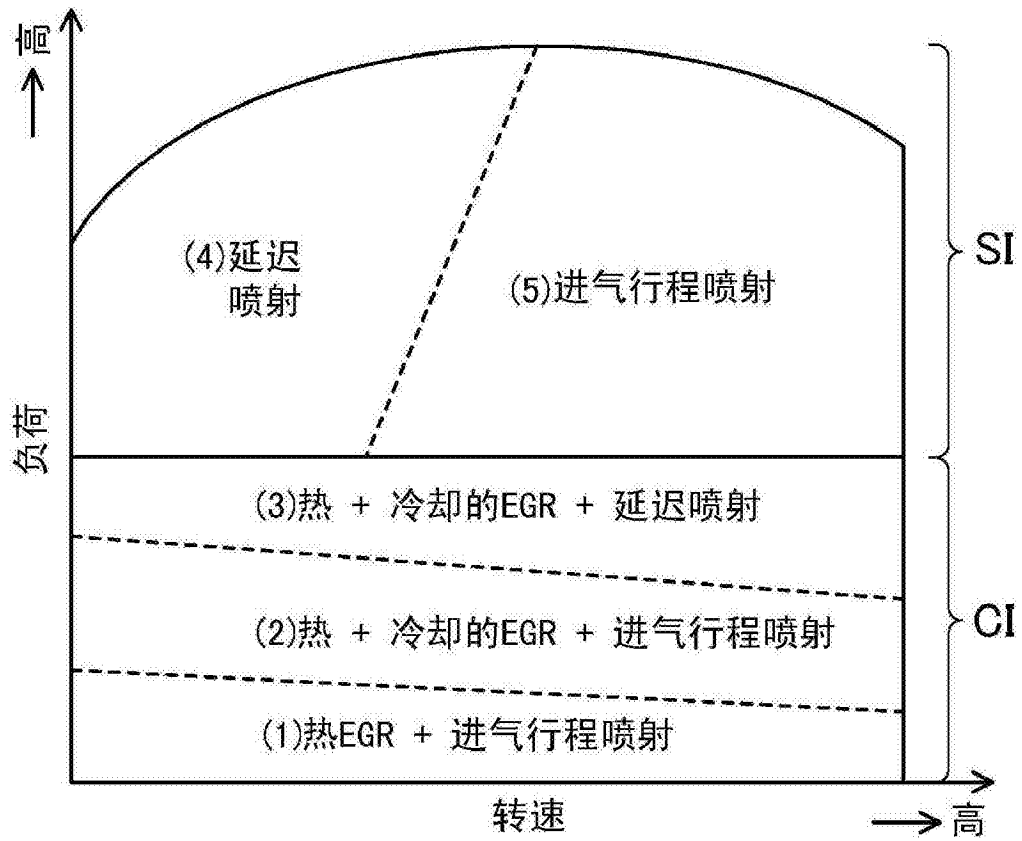


图 4

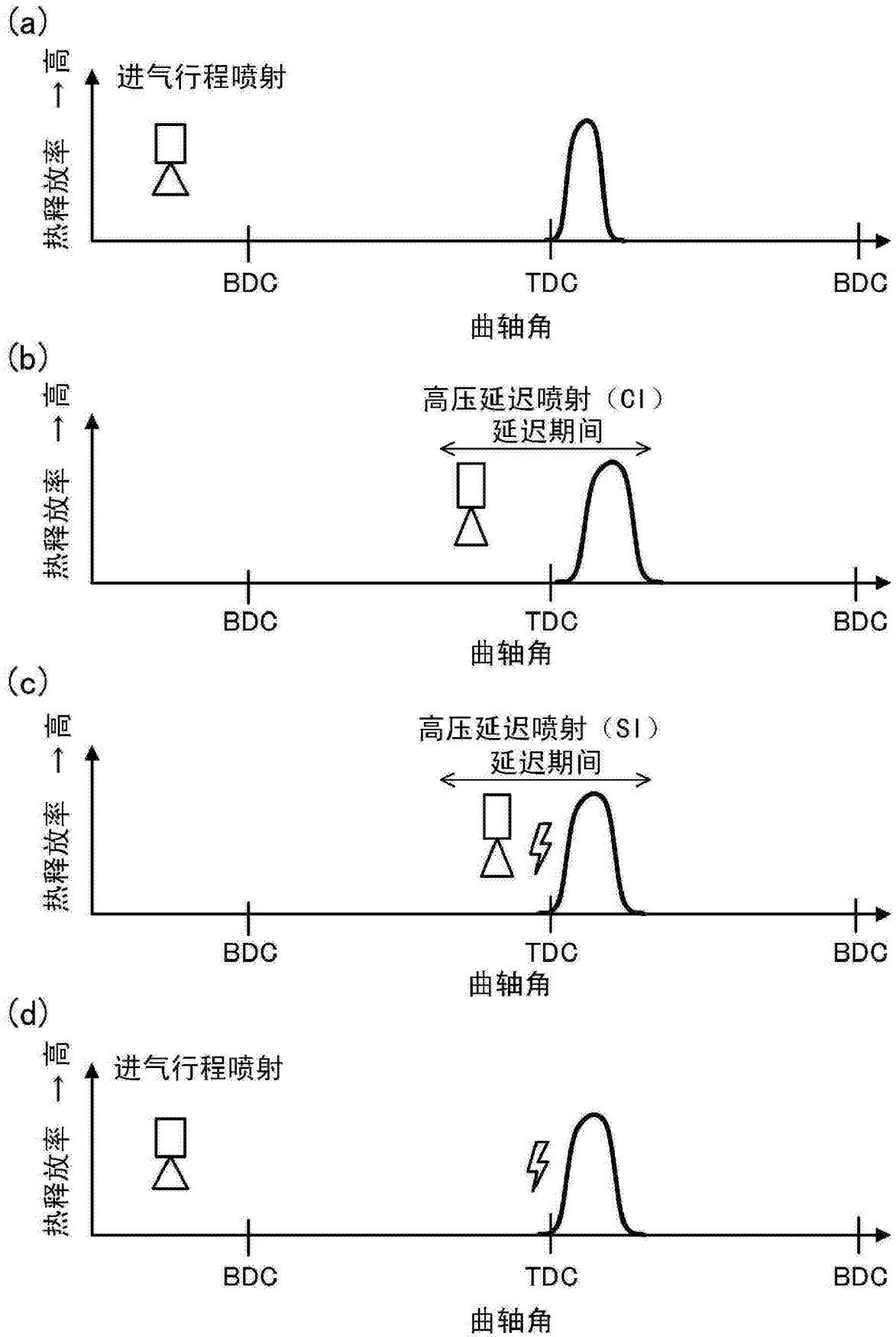


图 5

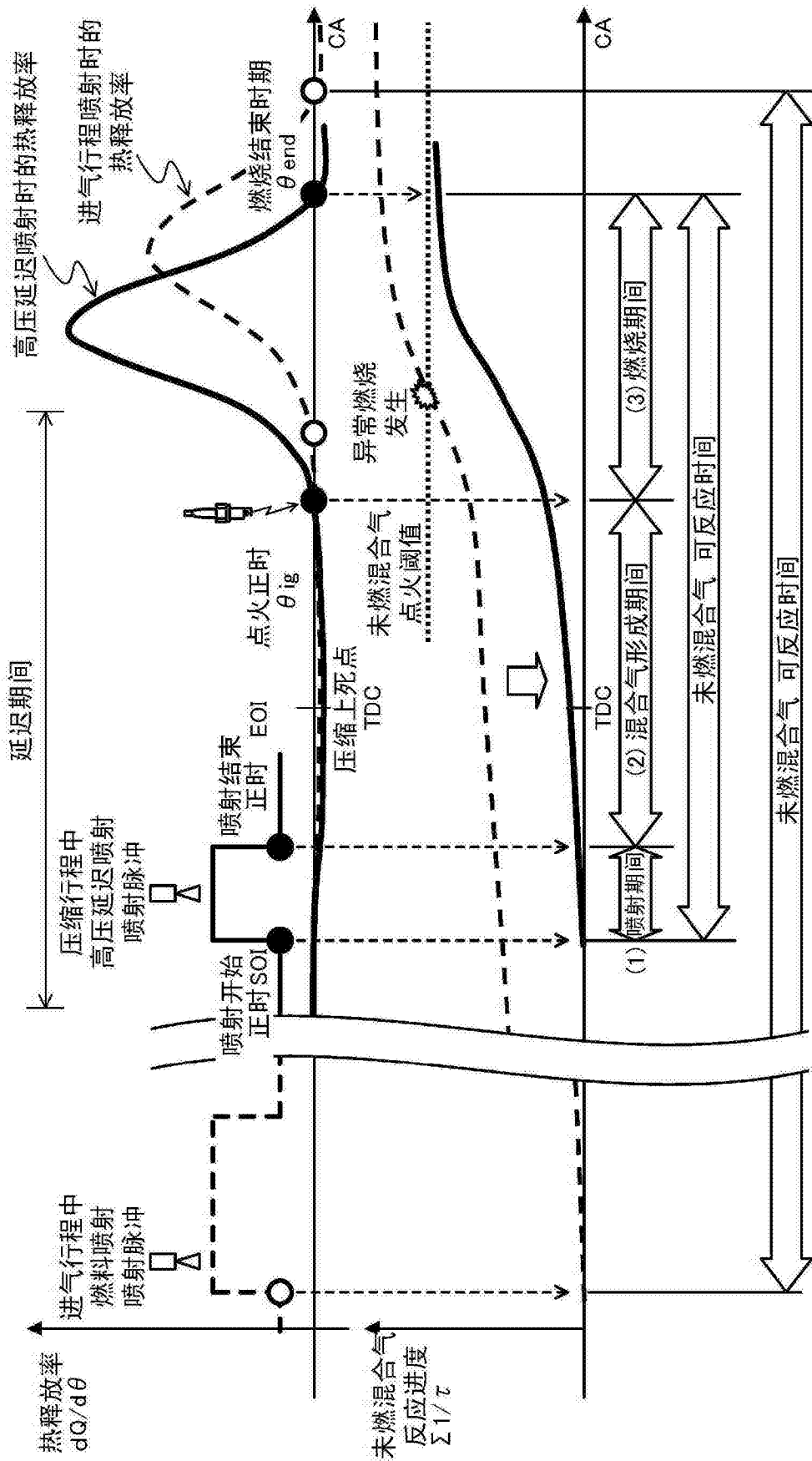


图 6

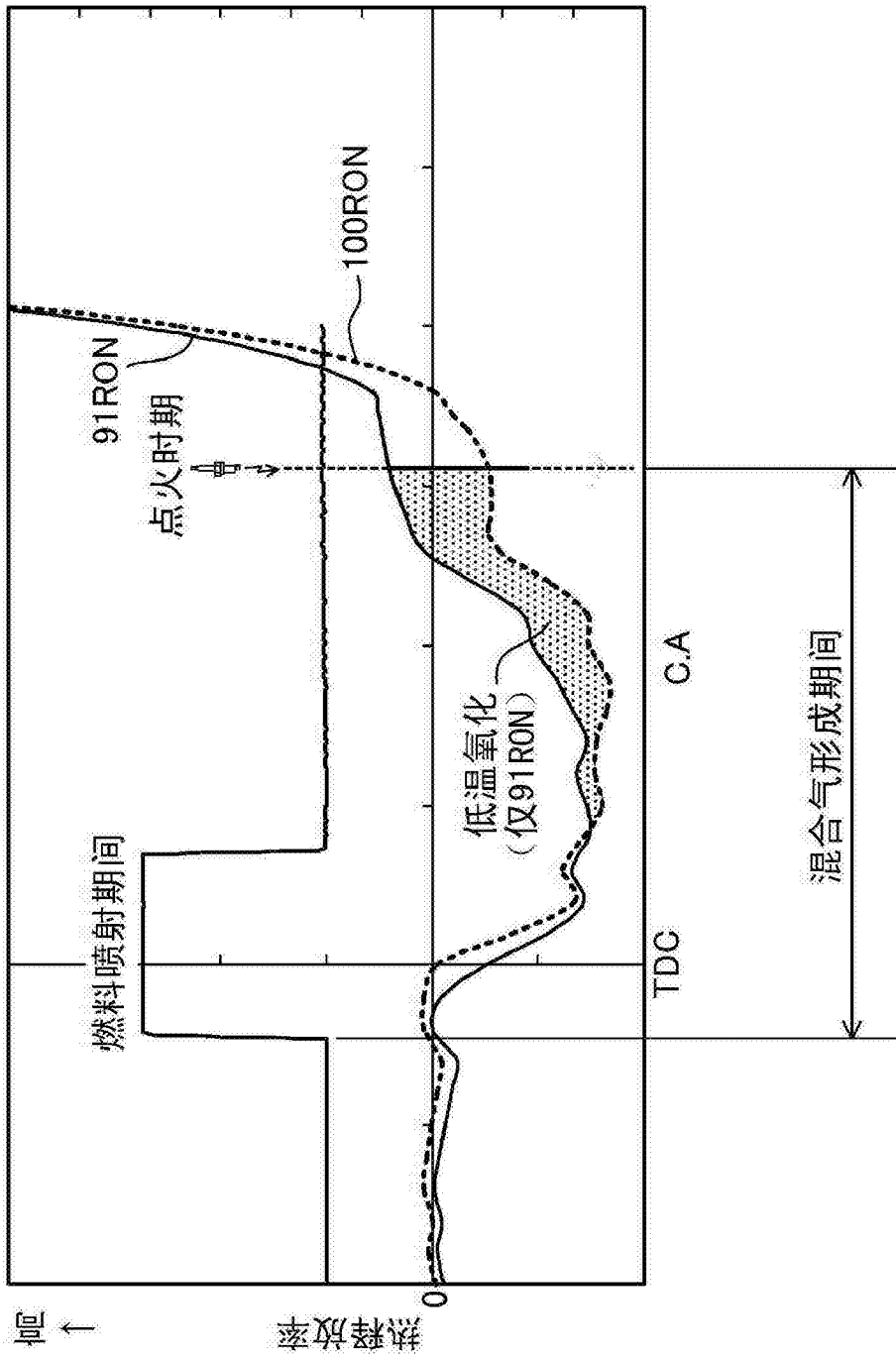


图 7