



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 116034501 B

(45) 授权公告日 2025. 04. 08

(21) 申请号 202080102867.1

(22) 申请日 2020.07.21

(65) 同一申请的已公布的文献号
申请公布号 CN 116034501 A

(43) 申请公布日 2023.04.28

(85) PCT国际申请进入国家阶段日
2023.01.06

(86) PCT国际申请的申请数据
PCT/IB2020/000625 2020.07.21

(87) PCT国际申请的公布数据
W02022/018473 JA 2022.01.27

(73) 专利权人 日产自动车株式会社
地址 日本神奈川县
专利权人 雷诺两合公司

(72) 发明人 岛田一秀

(74) 专利代理机构 北京林达刘知识产权代理事
务所(普通合伙) 11277
专利代理师 刘新宇 李靖

(51) Int.Cl.
H01M 8/04701 (2006.01)

(56) 对比文件
CN 107925100 A, 2018.04.17
DE 102018133581 A1, 2019.08.14
审查员 张美辰

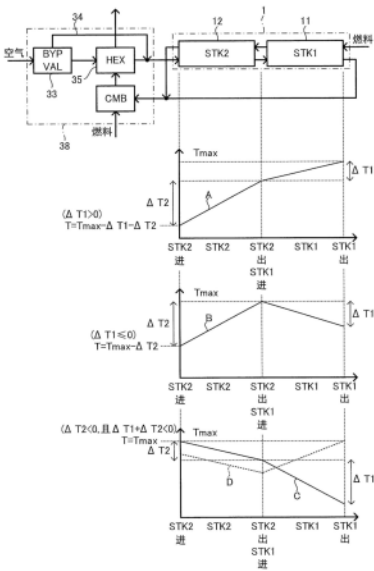
权利要求书2页 说明书12页 附图4页

(54) 发明名称

燃料电池系统

(57) 摘要

一种燃料电池系统,包括:燃料电池模块,其包括第一燃料电池和第二燃料电池;以及氧化剂气体温度调整装置,其调整向燃料电池模块供给的氧化剂气体的温度,至少第一燃料电池能够使燃料气体重整,所述燃料电池系统还包括温度控制单元,该温度控制单元以使第一燃料电池的温度和第二燃料电池的温度不超过规定的上限温度的方式设定向燃料电池模块供给的氧化剂气体的目标温度,并基于该目标温度来控制氧化剂气体温度调整装置,在将目标温度设为 T 、将上限温度设为 $T_{\max}$ 、将从第一燃料电池的出口温度减去入口温度所得到的差设为 ΔT_1 、将从第二燃料电池的出口温度减去入口温度所得到的差设为 ΔT_2 时,温度控制单元将目标温度 T 计算为: $T = T_{\max} - \Delta T_1 - \Delta T_2$ ($\Delta T_1 > 0$), $T = T_{\max} - \Delta T_2$ ($\Delta T_1 \leq 0$), $T = T_{\max}$ ($\Delta T_2 < 0$ 且 $\Delta T_1 + \Delta T_2 < 0$)。



1. 一种燃料电池系统,包括:

燃料电池模块,其包括串联配置的第一燃料电池和第二燃料电池,并且燃料气体的流通方向为从所述第一燃料电池朝向所述第二燃料电池的方向,氧化剂气体的流通方向为从所述第二燃料电池朝向所述第一燃料电池的方向;以及

氧化剂气体温度调整装置,其调整向所述燃料电池模块供给的所述氧化剂气体的温度,

至少所述第一燃料电池能够使所述燃料气体重整,

所述燃料电池系统还包括温度控制单元,所述温度控制单元以使所述第一燃料电池的温度和所述第二燃料电池的温度不超过规定的上限温度的方式设定向所述燃料电池模块供给的所述氧化剂气体的目标温度,并基于该目标温度来控制所述氧化剂气体温度调整装置,

在将所述目标温度设为 T 、将所述上限温度设为 $T_{\max}$ 、将从所述第一燃料电池的阴极的出口温度减去所述第一燃料电池的阴极的入口温度所得到的差设为 $\Delta T1$ 、将从所述第二燃料电池的阴极的出口温度减去所述第二燃料电池的阴极的入口温度所得到的差设为 $\Delta T2$ 时,所述温度控制单元将所述目标温度 T 计算为:

$T = T_{\max} - \Delta T1 - \Delta T2$, 其中, $\Delta T1 > 0$,

$T = T_{\max} - \Delta T2$, 其中, $\Delta T1 \leq 0$,

$T = T_{\max}$, 其中, $\Delta T2 < 0$ 且 $\Delta T1 + \Delta T2 < 0$ 。

2. 根据权利要求1所述的燃料电池系统,其中,

所述温度控制单元基于伴随所述第一燃料电池的发电而产生的发热量、在向所述第一燃料电池供给的所述燃料气体的重整反应中产生的吸热量、向所述第一燃料电池的外部的散热量、以及向所述第一燃料电池供给的所述氧化剂气体的流量,来计算所述 $\Delta T1$,

所述温度控制单元基于伴随所述第二燃料电池的发电而产生的发热量、向所述第二燃料电池的外部的散热量、以及向所述第二燃料电池供给的所述氧化剂气体的流量,来计算所述 $\Delta T2$ 。

3. 根据权利要求1所述的燃料电池系统,其中,

还具备向所述第一燃料电池的阳极供给氧的氧供给源,

至少在所述第一燃料电池中,能够通过所述氧和所述燃料气体发生部分氧化反应,

所述温度控制单元基于伴随所述第一燃料电池的发电而产生的发热量、由所述部分氧化反应产生的发热量、基于从向所述第一燃料电池供给的所述燃料气体的流量减去由于所述部分氧化反应而失去的所述燃料气体的流量所得到的差的重整反应中产生的吸热量、向所述第一燃料电池的外部的散热量、以及向所述第一燃料电池供给的所述氧化剂气体的流量,来计算所述 $\Delta T1$,

所述温度控制单元基于伴随所述第二燃料电池的发电而产生的发热量、向所述第二燃料电池的外部的散热量、以及向所述第二燃料电池供给的所述氧化剂气体的流量,来计算所述 $\Delta T2$ 。

4. 根据权利要求1~3中的任一项所述的燃料电池系统,其中,

所述氧化剂气体温度调整装置具备:

燃烧器,其使从所述燃料电池模块排出的燃料排气与氧化剂排气混合并燃烧;

热交换器,其将从所述燃烧器排出的燃烧气体与向所述燃料电池模块供给的所述氧化剂气体进行热交换;以及

追加燃料供给单元,其向所述燃烧器供给追加燃料,

所述温度控制单元控制所述追加燃料供给单元,使得所述氧化剂气体成为所述目标温度。

5.根据权利要求1~3中的任一项所述的燃料电池系统,其中,

包括向所述燃料电池模块供给所述氧化剂气体的氧化剂气体供给源,

所述氧化剂气体温度调整装置具备:

燃烧器,其使从所述燃料电池模块排出的燃料排气与氧化剂排气混合并燃烧;

热交换器,其将所述氧化剂气体供给源与所述燃料电池模块连接,并且将从所述燃烧器排出的燃烧气体与向所述燃料电池模块供给的所述氧化剂气体进行热交换;

旁路流路,其从所述氧化剂气体供给源绕过所述热交换器来向所述燃料电池模块供给所述氧化剂气体;

流量调整单元,其调整所述热交换器与所述旁路流路中的所述氧化剂气体的流量的比例;以及

追加燃料供给单元,其向所述燃烧器供给追加燃料,

所述温度控制单元控制所述流量调整单元和/或所述追加燃料供给单元,使得所述氧化剂气体成为所述目标温度。

燃料电池系统

技术领域

[0001] 本发明涉及一种燃料电池系统。

背景技术

[0002] US2012/0034538A中公开了如下结构:在具备串联配置的第一燃料电池、第二燃料电池的燃料电池系统中,在第二燃料电池的温度上升时,使向阴极供给的空气流量增加,在第一燃料电池的温度上升时,使向阴极供给的空气流量增加或者使绕过第二燃料电池地与第一燃料电池连接的旁路流路中的空气流量增加,由此调整第一燃料电池和第二燃料电池的温度。

发明内容

[0003] 但是,在实施上述结构的情况下,需要第一燃料电池的温度的检测和第二燃料电池的温度的检测。一般来说,在检测燃料电池的温度的情况下,检测燃料电池的阴极的出口温度,但在第二燃料电池的阴极的出口、即第一燃料电池与第二燃料电池之间配置传感器会导致系统的大型化或成本的增加。

[0004] 因此,本发明的目的在于提供一种包括串联配置的燃料电池并且、能够以简易的结构进行燃料电池的温度调整的燃料电池系统。

[0005] 根据本发明的某一方式,燃料电池系统包括:燃料电池模块,其包括串联配置的第一燃料电池和第二燃料电池,并且燃料气体的流通方向为从第一燃料电池朝向第二燃料电池的方向,氧化剂气体的流通方向为从第二燃料电池朝向第一燃料电池的方向;以及氧化剂气体温度调整装置,其调整向燃料电池模块供给的氧化剂气体的温度,至少第一燃料电池能够使燃料气体重整,燃料电池系统还包括温度控制单元,该温度控制单元设定向燃料电池模块供给的氧化剂气体的目标温度,并基于该目标温度来控制氧化剂气体温度调整装置,使得第一燃料电池的温度和第二燃料电池的温度不超过规定的上限温度,在将目标温度设为 T 、将上限温度设为 $T_{\max}$ 、将从第一燃料电池的出口温度减去入口温度所得到的差设为 $\Delta T1$ 、将从第二燃料电池的出口温度减去入口温度所得到的差设为 $\Delta T2$ 时,温度控制单元将目标温度 T 计算为: $T = T_{\max} - \Delta T1 - \Delta T2$ ($\Delta T1 > 0$), $T = T_{\max} - \Delta T2$ ($\Delta T1 \leq 0$), $T = T_{\max}$ ($\Delta T2 < 0$ 且 $\Delta T1 + \Delta T2 < 0$)。

附图说明

[0006] 图1是用于简单地说明本发明的框图和示出燃料电池堆内的温度分布的图。

[0007] 图2是示出本实施方式的燃料电池系统的主要结构的框图。

[0008] 图3是示出目标空气流量与目标取出电力之间的关系的映射。

[0009] 图4是示出目标燃料流量与目标取出电力之间的关系的映射。

[0010] 图5是示出目标部分氧化反应用空气流量与目标取出电力之间的关系的映射。

[0011] 图6是空气温度控制部的控制流程图。

具体实施方式

[0012] 下面,参照附图来说明本发明的实施方式。

[0013] <本发明的基本动作>

[0014] 图1是用于简单地说明本发明的框图和示出燃料电池堆内的温度分布的图。

[0015] 如图1所示,本发明的燃料电池系统具备燃料电池模块1,在该燃料电池模块1中,两个燃料电池堆即第一燃料电池堆11(第一燃料电池,STK1)和第二燃料电池堆12(第二燃料电池,STK2)配置为针对气体流路串联,构成为阳极气体(燃料气体)从第一燃料电池堆11流向第二燃料电池堆12,且构成为阴极气体(氧化剂气体)从第二燃料电池堆12流向第一燃料电池堆11。即,在燃料电池模块1中,作为两个堆的第一燃料电池堆11与第二燃料电池堆12之间的、阳极气体的流通方向与阴极气体的流通方向相互相反。

[0016] 在燃料电池模块1中,第一燃料电池堆11的阳极的入口成为阳极气体的入口,第二燃料电池堆12的阴极的入口成为阴极气体的入口。第一燃料电池堆11的阳极的出口与第二燃料电池堆12的阳极的入口相互连接,第二燃料电池堆12的阴极的出口与第一燃料电池堆11的阴极的入口相互连接。

[0017] 另外,本发明的燃料电池系统具备调整向燃料电池模块1供给的阴极气体的温度的温度调整装置38(氧化剂气体温度调整装置),但详情在后面描述。

[0018] 在本发明的燃料电池系统中,在第一燃料电池堆11(和第二燃料电池堆12)配置有能够使燃料气体重整的催化剂。第一燃料电池堆11使燃料气体重整为包含氢的阳极气体(重整燃料),并利用重整后的阳极气体和从第二燃料电池堆12供给的阴极气体来进行发电,并且向第二燃料电池堆12供给剩余的阳极气体。另外,用于发电反应的阴极气体作为阴极排气排出到构成温度调整装置38的燃烧器4。

[0019] 第二燃料电池堆12利用从第一燃料电池堆11供给的阳极气体和从温度调整装置38供给的阴极气体来进行发电。而且,第二燃料电池堆12向第一燃料电池堆11供给在发电中使用的阴极气体,并将在发电中使用的阳极气体作为阳极排气供给到燃烧器4。

[0020] 在第一燃料电池堆11和第二燃料电池堆12中,温度上升得越多则发电效率提高得越多。但是,由于耐热性等理由对第一燃料电池堆11和第二燃料电池堆12设定有上限温度(例如800℃)。

[0021] 由此,需要以使第一燃料电池堆11的温度(第一燃料电池堆11的阴极的出口温度)和第二燃料电池堆12的温度(第二燃料电池堆12的阴极的出口温度)不超过该上限温度、并且能够充分地进行发电反应的方式调整阴极气体的温度。

[0022] 在本申请的发明中,例如将第二燃料电池堆12的阴极的入口温度(该阴极的入口处的阴极气体的温度)设为目标温度,并根据该目标温度来以使第一燃料电池堆11和第二燃料电池堆12的温度不超过上限温度的方式控制温度调整装置38。由此,能够削减温度探测单元(图2的温度传感器51)的数量来使系统小型化。此外,目标温度由后述的目标温度运算部753(图2)运算。

[0023] 另外,在第一燃料电池堆11和第二燃料电池堆12中发生的发电反应是发热反应,但在第一燃料电池堆11中发生的重整反应是吸热反应。另外,阴极气体被上述的温度调整装置38加热,但根据发电反应、重整反应的程度等,该阴极气体不仅存在在第一燃料电池堆11和第二燃料电池堆12中被加热的情况,还存在在第一燃料电池堆11和第二燃料电池堆12

中被冷却的情况。因而,如图1所示,阴极气体的温度分布有时如下面的A-D那样。

[0024] A是如下情况:针对第一燃料电池堆11和第二燃料电池堆12的负荷(发电量)大,在第一燃料电池堆11中,由发电反应产生的发热量变得充分地大于由重整反应产生的吸热量,并且第一燃料电池堆11和第二燃料电池堆12的温度(阴极的出口温度)变得高于从温度调整装置38供给的阴极气体的温度。在该情况下,从温度调整装置38供给的阴极气体的温度随着去向阴极气体的流路的下游而上升,在第一燃料电池堆11的阴极的出口处成为最高的温度。

[0025] 在此,若将从第一燃料电池堆11的出口温度减去入口温度所得到的差设为 $\Delta T1$ 、将从第二燃料电池堆12的出口温度减去入口温度所得到的差设为 $\Delta T2$,则在A的情况下, $\Delta T1 > 0$, $\Delta T2 > 0$ 。

[0026] 因而,若将目标温度设为 T ,将上限温度设为 T_{max} ,则目标温度运算部753(图2)通过 $T = T_{max} - \Delta T1 - \Delta T2$ 来计算目标温度 T ,由此能够将成为最高温度的第一燃料电池堆11的阴极的出口温度设定为上限温度 T_{max} 。

[0027] B是如下情况:针对第一燃料电池堆11和第二燃料电池堆12的负荷(发电量)变得比A的情况小,例如第一燃料电池堆11中的由重整反应产生的吸热量与由发电反应产生的发热量变为相同程度。此时,第二燃料电池堆12的温度为比从温度调整装置38供给的阴极气体的温度高的状态,但第一燃料电池堆11的温度为从第二燃料电池堆12排出的阴极气体的温度以下。由此,阴极气体的温度在第二燃料电池堆12的阴极的出口处成为最高的温度。此外,在该情况下, $\Delta T1 \leq 0$, $\Delta T2 > 0$ 。

[0028] 因而,目标温度运算部753(图2)通过 $T = T_{max} - \Delta T2$ 来计算目标温度 T ,由此能够将成为最高温度的第二燃料电池堆12的阴极的出口温度(即第一燃料电池堆11的阴极的入口温度)设定为上限温度 T_{max} 。

[0029] C是如下情况:针对第一燃料电池堆11和第二燃料电池堆12的负荷(发电量)急剧变小,第二燃料电池堆12的温度变得低于从温度调整装置38供给的阴极气体的温度。此时,可能产生成为 $\Delta T2 < 0$ 且 $\Delta T1 + \Delta T2 < 0$ 的温度分布。在此, $\Delta T1$ 包含 $\Delta T1 < 0$ 的情况、或者 $\Delta T1 > 0$ 且其绝对值小于 $\Delta T2$ 的情况。在该情况下,阴极气体的温度在第二燃料电池堆12的阴极的入口处成为最高的温度。

[0030] 因而,目标温度运算部753(图2)通过 $T = T_{max}$ 来计算目标温度 T ,由此能够将成为最高温度的第二燃料电池堆12的阴极的入口温度设定为上限温度 T_{max} 。

[0031] D是与C同样的场景,例如在第一燃料电池堆11的热容量大于第二燃料电池堆12的热容量从而第一燃料电池堆11的温度降低的程度小的情况下发生。此时,产生使得 $\Delta T2 < 0$ 但 $\Delta T1 + \Delta T2 \geq 0$ 的温度分布。在该情况下,第一燃料电池堆11的阴极的出口温度成为最高的温度。

[0032] 因而,目标温度运算部753(图2)通过 $T = T_{max} - \Delta T1 - \Delta T2$ 来计算目标温度 T ,由此能够将成为最高温度的第一燃料电池堆11的阴极的出口温度设定为上限温度 T_{max} 。在此,由于 $\Delta T1 > 0$,因此D中的目标温度 T 的设定条件与A相同。

[0033] 如后所述,能够计算 $\Delta T1$ 和 $\Delta T2$ 。因而,切换目标温度 T 的运算式,使得能够通过根据针对第一燃料电池堆11和第二燃料电池堆12的负荷等计算 $\Delta T1$ 和 $\Delta T2$,来判断第一燃料电池堆11和第二燃料电池堆12中的成为最高温度的位置是什么位置,并将该位置的温度设

定为上限温度 T_{max} 。由此,能够实现第一燃料电池堆11和第二燃料电池堆12的温度过高防止和高温化。

[0034] 如上面这样,目标温度运算部753(图2)能够如下面的数式1那样分情况地计算目标温度 T 。

[0035] [数式1]

$$[0036] \quad T \begin{cases} = T_{max} - \Delta T1 - \Delta T2 (\Delta T1 > 0) \\ = T_{max} - \Delta T2 (\Delta T1 \leq 0) \\ = T_{max} (\Delta T2 < 0, \quad \Delta T1 + \Delta T2 < 0) \end{cases}$$

[0037] 此外,也能够将目标温度 T 设为第一燃料电池堆11的阴极的出口温度(该阴极处的阴极气体的温度)。在该情况下,若参照图1,则目标温度运算部753(图2)能够如下面的数式2那样分情况地计算目标温度 T 。

[0038] [数式2]

$$[0039] \quad T \begin{cases} = T_{max} (\Delta T1 > 0) \\ = T_{max} + \Delta T1 (\Delta T1 \leq 0) \\ = T_{max} + \Delta T1 + \Delta T2 (\Delta T2 < 0, \quad \Delta T1 + \Delta T2 < 0) \end{cases}$$

[0040] <本实施方式的结构>

[0041] 图2是示出本实施方式的燃料电池系统的主要结构的框图。

[0042] 本实施方式的燃料电池系统由向燃料电池模块1供给阳极气体的燃料供给系统、向燃料电池模块1供给空气(阴极气体)的空气供给系统、使从燃料电池模块1排出的阳极排气(阳极气体)、阴极排气(阴极气体)燃烧的燃烧系统、从燃料电池模块1取出电力来得到动力的驱动系统以及控制系统整体的控制系统构成,主要搭载于车辆(电动车辆)。

[0043] 燃料供给系统包括罐21(TANK)、喷射器23(INJ1)、喷射器24(INJ2)。空气供给系统包括鼓风机32(BLW)、旁路阀33(BYPVAL)、热交换器35(HEX)、可变阀37(VAL)。燃烧系统包括燃烧器4(CMB)。而且,旁路阀33、热交换器35、燃烧器4、喷射器24构成温度调整装置38。

[0044] 驱动系统包括DC/DC转换器61(CONV)、蓄电池62(BATT)、驱动马达63(M)。控制系统包括控制系统整体的控制部7(CONT)。

[0045] 构成燃料电池模块1的第一燃料电池堆11和第二燃料电池堆12是固体氧化物型的燃料电池(SOFC:Solid Oxide Fuel Cell),是层叠电池单体所得到的电池,该电池单体具备由陶瓷等固体氧化物形成的电解质层,该电池单体是由被供给阳极气体(重整气体)的阳极(燃料极)和被供给作为阴极气体(氧化剂气体)的含有氧的空气中的阴极(空气极)夹住该电解质层而得到的。

[0046] 在此,在第一燃料电池堆11(和第二燃料电池堆12)的电解质层配置有使从喷射器23侧供给的重整用燃料重整为含有氢的阳极气体(重整后的燃料气体)的催化剂。

[0047] 第一燃料电池堆11使阳极气体中包含的氢与阴极气体中的氧发生反应来进行发电,并且向第二燃料电池堆12供给剩余的阳极气体,向燃烧器4排出阴极排气。

[0048] 第二燃料电池堆12使从第一燃料电池堆11供给的阳极气体与从鼓风机32经由温度调整装置38供给的阴极气体发生反应来进行发电,并且,向第一燃料电池堆11供给剩余的阴极气体,向燃烧器4排出阳极排气。

[0049] 在此,阳极设为不仅包括第一燃料电池堆11和第二燃料电池堆12中的阳极电极,

还包括向阳极电极供给阳极气体的内部流路和用于排出在阳极电极处发生反应后的阳极排气的内部流路。同样地,阴极设为不仅包括第一燃料电池堆11和第二燃料电池堆12中的阴极电极,还包括向阴极电极供给阴极气体的内部流路和用于排出在阴极电极处发生反应后的阴极排气的内部流路。

[0050] 在燃料供给系统中,罐21在高压下储存例如由甲烷或以甲烷为主要成分的天然气构成的燃料(气体),对喷射器23供给作为重整用燃料的燃料,对喷射器24供给作为燃烧用的追加燃料的燃料。

[0051] 燃料供给系统具有从罐21经由喷射器23向第一燃料电池堆11的阳极供给重整用燃料的燃料流路22(主流路)。

[0052] 另外,从燃料流路22分支出副流路(未图示),副流路与喷射器24连接。

[0053] 喷射器23、24具备:喷嘴体(未图示),其被压入燃料;柱塞杆(未图示),其被向位于喷嘴体的前端的燃料喷射孔(未图示)封闭的方向施力;以及螺线管(未图示),其使柱塞杆向该施力的方向的反方向移动。

[0054] 在喷射器23、24中,对螺线管施加指令信号(电流),由此螺线管以使柱塞杆向该反方向移动的方式驱动该柱塞杆,由此柱塞杆使燃料喷射孔开放从而喷射燃料。另外,通过停止指令信号(电流)来使螺线管的驱动停止,柱塞杆由于施力而移动,从而封闭燃料喷射孔以使燃料的喷射停止。

[0055] 在喷射器23、24中,燃料喷射孔的开放/封闭的占空比依赖于指令信号(电流)的开启/停止的占空比。由此,喷射器23、24能够通过调整指令信号(电流)的占空比来调整所喷射的燃料的流量。

[0056] 空气供给系统具有向第二燃料电池堆12的阴极供给阴极气体(空气)的空气流路31。而且,在该空气流路31中从上游起配置有鼓风机32、旁路阀33、热交换器35。

[0057] 鼓风机32(氧化剂气体供给源)摄入外部气体来向空气流路31等供给空气(阴极气体)。

[0058] 热交换器35经由空气流路31来与第二燃料电池堆12的阴极连通,利用从燃烧器4排出的燃烧气体来对阴极气体进行热交换(加热)并向第二燃料电池堆12的阴极供给该阴极气体。此外,热交换后的燃烧气体被排出到外部。

[0059] 旁路阀33(流量调整单元)配置于空气流路31中的比热交换器35靠上游的位置。旁路阀33的上游侧与鼓风机32连接,下游侧与空气流路31(热交换器35)及旁路流路34连接,旁路阀33通过调整开度来调整空气流路31和旁路流路34中的阴极气体(空气)的流量的比例。旁路流路34绕过热交换器35,在空气流路31中的热交换器35与第二燃料电池堆12的阴极之间的位置处与空气流路31合流。

[0060] 另外,从空气流路31的比旁路阀33靠上游的位置分支出供给路36,供给路36在燃料流路22中的第一燃料电池堆11与喷射器23之间的位置处与燃料流路22合流。

[0061] 可变阀37配置于供给路36,用于调整在供给路36中流通的空气(氧)的流量。当向第一燃料电池堆11的阳极供给空气(氧)时,能够借助配置于第一燃料电池堆11的催化剂(也可以与用于进行重整反应的催化剂相同)来使阳极气体与氧发生部分氧化反应(发热反应),使第一燃料电池堆11的温度上升。由此,后述的部分氧化反应用空气流量控制部73能够避免使第一燃料电池堆11的温度降低至低于能够进行重整反应的温度的下限值。此时,

鼓风机32作为氧供给源发挥功能。

[0062] 此外,供给路36也可以还与第二燃料电池堆12的阳极的入口连接,在第二燃料电池堆12中也能够进行部分氧化反应。另外,在不需要部分氧化反应的情况下,在第一燃料电池堆11和第二燃料电池堆12中也可以省略供给路36和可变阀37(和后述的部分氧化反应用空气流量控制部73)。

[0063] 在燃烧系统中,燃烧器4与第一燃料电池堆11的阳极的出口及第二燃料电池堆12的阴极的出口连通。向燃烧器4导入阳极排气与阴极排气的混合气体。燃烧器4使该混合气体发生催化燃烧来生成燃烧气体。燃烧器4具备用于进行上述的催化燃烧的催化剂(未图示)和使催化剂(未图示)升温至能够使燃料燃烧的温度的加热器(未图示)。另外,从喷射器24向燃烧器4供给追加燃料。由此,燃烧器4一边使混合气体燃烧并使燃烧气体燃烧,一边使追加燃料燃烧,由此能够使燃烧气体的温度进一步增加。

[0064] 在温度调整装置38(旁路阀33、热交换器35、燃烧器4、喷射器24)中,能够通过向燃烧器4供给追加燃料来使燃烧气体的温度上升,由此使通过热交换器35的阴极气体的温度上升,或者,能够通过使在旁路流路34中流通的阴极气体的流量增加/减少,来使向燃料电池模块1供给的阴极气体的温度降低/上升。

[0065] 温度传感器51用于检测第二燃料电池堆12的阴极的入口温度。此外,温度传感器51也可以配置于第一燃料电池堆11的阴极的出口。

[0066] 流量传感器52用于检测由鼓风机32摄入的空气(阴极气体)的流量。

[0067] 第一电压传感器53用于检测第一燃料电池堆11的输出电压。

[0068] 第二电压传感器54用于检测第二燃料电池堆12的输出电压。

[0069] 在此,第一燃料电池堆11与第二燃料电池堆12还串联地电连接。

[0070] 电流传感器55用于检测流过串联连接的第一燃料电池堆11及第二燃料电池堆12与DC/DC转换器61之间的输出电流。

[0071] DC/DC转换器61与第一燃料电池堆11及第二燃料电池堆12的串联电路连接,使该串联电路的输出电压升压来向蓄电池62或驱动马达63供给电力。

[0072] 第一燃料电池堆11与第二燃料电池堆12也能够不进行电连接,而单独地取出电力。在该情况下,能够设为如下结构:准备两个DC/DC转换器61,一方的DC/DC转换器61与第一燃料电池堆11连接,另一方的DC/DC转换器61与第二燃料电池堆12连接,并且两个DC/DC转换器61与蓄电池62及驱动马达63连接。

[0073] 蓄电池62被充入从DC/DC转换器61供给的电力,并且能够向驱动马达63供给电力。

[0074] 驱动马达63经由逆变器(未图示)来与蓄电池62及DC/DC转换器61连接,成为车辆的动力源。另外,驱动马达63在车辆减速时,产生再生电力,而能够将其充入蓄电池62。

[0075] 控制部7由包括微计算机、微处理器、CPU的通用电路和周边设备构成,通过执行特定的程序来执行用于控制燃料电池系统的处理。

[0076] 控制部7包括取出电力控制部71(POWERCONT)、空气流量控制部72(AIRFLOWCONT)、部分氧化反应用空气流量控制部73(POXAIRFLOWCONT)、燃料流量控制部74(FUELFLOWCONT)、空气温度控制部75(AIRTEMPCONT)。另外,控制部7具备运算部(未图示),该运算部基于蓄电池62的充电率(SOC)、驾驶员的驱动请求(油门踏板开度)来计算目标取出电力(POWER)。

[0077] 此外,控制部7能够进行燃料电池系统的启动控制和停止控制,但这些控制是现有技术,因此省略说明。

[0078] 取出电力控制部71当被输入了目标取出电力的信息时,向DC/DC转换器61输出指令信号,使得从燃料电池模块1取出的电力成为该目标取出电力。从燃料电池模块1取出的电力被供给到蓄电池62或驱动马达63。

[0079] 图3是示出目标空气流量与目标取出电力之间的关系的映射。图4是示出目标燃料流量与目标取出电力之间的关系的映射。图5是示出目标部分氧化反应应用空气流量与目标取出电力之间的关系的映射。

[0080] 空气流量控制部72当被输入了目标取出电力的信息时,向鼓风机32输出用于达成目标空气流量的指令信号。在此,目标空气流量是能够确保燃料电池模块1发电出目标取出电力所需要的氧量和使从燃料电池模块1排出的阳极排气在燃烧器4中燃烧所需要的氧量的空气流量。

[0081] 预先通过实验、桌面研究来设定目标取出电力与目标空气流量之间的关系。由此,如图3所示,空气流量控制部72能够具备将目标取出电力(POWER)设为输入值且将目标空气流量(AIRFLOW)设为输出值的映射。由此,空气流量控制部72能够决定与目标取出电力对应的目标空气流量。

[0082] 燃料流量控制部74当被输入了目标取出电力的信息时,向喷射器23输出用于达成目标燃料流量的指令信号。目标燃料流量是确保了能够在燃料电池模块1中稳定地发电的燃料利用率以发电出目标取出电力的燃料流量。

[0083] 预先通过实验、桌面研究来设定目标取出电力与目标燃料流量之间的关系。由此,如图4所示,燃料流量控制部74能够具备将目标取出电力(POWER)设为输入值且将目标燃料流量(FUELFLOW)设为输出值的映射。由此,燃料流量控制部74能够决定与目标取出电力对应的目标燃料流量。

[0084] 部分氧化反应应用空气流量控制部73当被输入了目标取出电力的信息时,向可变阀37输出形成用于达成目标部分氧化反应应用空气流量的可变阀37的开度的指令信号。目标部分氧化反应应用空气流量是基于目标取出电力以不使第一燃料电池堆11的温度过低的方式(例如,以使该温度不低于能够通过催化剂来进行重整反应的下限温度的方式)向第一燃料电池堆11供给的空气流量。

[0085] 预先通过实验、桌面研究来设定目标取出电力与目标部分氧化反应应用空气流量之间的关系。由此,如图5所示,部分氧化反应应用空气流量控制部73能够具备将目标取出电力(POWER)设为输入值且将目标部分氧化反应应用空气流量(POXAIRFLOW)设为输出值的映射。由此,部分氧化反应应用空气流量控制部73能够决定与目标取出电力对应的目标部分氧化反应应用空气流量。

[0086] 空气温度控制部75(温度控制单元)包括第一温度差运算部751(STK1 Δ T1COMP)、第二温度差运算部752(STK2 Δ T2COMP)、目标温度运算部753(AIRTEMPCOMP)、驱动控制部754(DRIVECONT)。

[0087] 第一温度差运算部751当被输入了目标燃料流量、目标部分氧化反应应用空气流量、由流量传感器52检测到的空气的流量、由第一电压传感器53探测到的电压、由第二电压传感器54探测到的电压、由电流传感器55检测到的电流各信息时,如下面的数式3那样计算从

第一燃料电池堆11的阴极的出口温度减去入口温度所得到的差 $\Delta T1$ 。

[0088] [数式3]

$$[0089] \quad \Delta T1 = \frac{(Pp1 - Pr1 - Pd1 + Po1)}{(\sigma \times c \times Q)}$$

[0090] 在此, $Pp1[W]$ 是由第一燃料电池堆11的发电产生的发热量。对于 $Pp1$, 使用预先通过实验、桌面研究所得到的结果(将发电量设为输入值且将发热量设为输出值的映射), 来计算与第一燃料电池堆11的发电电力对应的发热量。此外, 能够通过将由第一电压传感器53探测到的电压(更严谨地说, 从第一燃料电池堆11的开放电压起的降低量)与由电流传感器55检测到的电流相乘来得到第一燃料电池堆11的发电量。

[0091] $Pr1[W]$ 是由在第一燃料电池堆11中发生的重整反应产生的吸热量。重整反应的反应式为 $CH_4 + 2H_2O \rightarrow 4H_2 + CO_2 - 165[kJ/mol]$, 与 CH_4 的流量 $[mol/s]$ 成比例。另外, 在部分氧化反应中, 针对1摩尔的氧, 消耗2摩尔的 CH_4 。由此, 部分氧化反应后的 CH_4 的流量为从部分氧化反应前的 CH_4 的流量减去目标部分氧化用空气流量中的氧的流量的2倍的流量(在部分氧化反应中消耗的 CH_4 的流量)所得到的差。

[0092] 因而, 第一温度差运算部751例如通过(每1摩尔的重整用燃料的重整反应的吸热量 $(165[kJ]) \times$ (目标燃料流量 $[mol/s]$ - 目标部分氧化用空气流量中的氧的流量 $[mol/s] \times 2)$ 来计算 $Pr1$ 。氧的流量根据是空气流量的21%来运算。

[0093] 但是, 不限于全部重整用燃料都被重整, 可能依赖于重整反应的反应速度而变化。由此, 重整量也可能根据重整用燃料的压力、流速而变化, 因此也可以通过检测这些变化并根据这些变化来校正 Pr , 还可以通过检测第一燃料电池堆11的阳极的入口和出口的阳极气体的成分并根据该检测结果来校正 Pr 。

[0094] $Pd1[W]$ 是第一燃料电池堆11中的从除阳极气体、阴极气体以外的成分向外部放出的固定的散热量, 使用预先通过实验、桌面研究所得到的结果来计算 $Pd1$ 。

[0095] $Po1$ 是在第一燃料电池堆11中发生部分氧化反应的情况下的发热量。部分氧化反应的反应式为 $2CH_4 + O_2 \rightarrow CO + 4H_2 + 70[kJ/mol]$, 与氧的流量 $[mol/s]$ 成比例。因此, 第一温度差运算部751例如通过(每1摩尔的被消耗的氧的部分氧化反应的发热量 $(70[kJ]) \times$ (目标部分氧化反应用空气流量中的氧的流量 $[mol/s]$) 来计算 $Po1$ 。

[0096] $\sigma[kg/m^3]$ 是空气的密度, $c[kJ/kg \cdot ^\circ C]$ 是空气的比热容, 针对向燃料电池模块1供给的空气, 使用预先通过实验、桌面研究求出的固定值。另外, 也能够检测该空气的压力和温度并进行估计运算。

[0097] $Q[m^3/s]$ 是由鼓风机32摄入的空气的流量, 使用由流量传感器52探测到的值。

[0098] 第一温度差运算部751当计算出了 $\Delta T1$ 时, 将其输出到目标温度运算部753。

[0099] 第二温度差运算部752当被输入了与第一温度差运算部751同样的信息时, 与 $\Delta T1$ 同样地, 如下面的数式4那样计算从第二燃料电池堆12的阴极的出口温度减去入口温度所得到的差 $\Delta T2$ 。

[0100] [数式4]

$$[0101] \quad \Delta T2 = \frac{(Pp2 - Pr2 - Pd2 + Po2)}{(\sigma \times c \times Q)}$$

[0102] 在此, $Pp2[W]$ 是由第二燃料电池堆12的发电产生的发热量, 以与 $Pp1$ 同样的方法来计算 $Pp2$ 。另外, $Pd2[W]$ 是第二燃料电池堆12中的从除阳极气体、阴极气体以外的成分向外部放出的固定的散热量, 以与 $Pd1$ 同样的方法来计算 $Pd2$ 。

[0103] 在第二燃料电池堆12中不进行重整反应的情况下, $Pr2[W]$ 为零, 但在进行重整反应的情况下, 以与 $Pr1$ 同样的方法来计算 $Pr2$ 。在第二燃料电池堆12中不进行部分氧化反应的情况下, $Po2[W]$ 为零, 但在进行部分氧化反应的情况下, 以与 $Po1$ 同样的方法来计算 $Po2$ 。

[0104] 第二温度差运算部752当计算出了 $\Delta T2$ 时, 将其输出到目标温度运算部753。

[0105] 此外, 上述的数式3和数式4依赖于目标取出电力。因而, 第一温度差运算部751也可以具备将目标取出电力设为输入值且将 $\Delta T1$ 设为输出值的映射, 也可以据此计算与目标取出电力对应的 $\Delta T1$ 。同样, 第二温度差运算部752也可以具备将目标取出电力设为输入值且将 $\Delta T2$ 设为输出值的映射, 也可以据此计算与目标取出电力对应的 $\Delta T2$ 。

[0106] 目标温度运算部753当被输入了 $\Delta T1$ 和 $\Delta T2$ 的信息时, 按照上述的数式1 (或数式2) 来计算空气 (阴极气体) 的目标温度 T , 并将其输出到驱动控制部754。

[0107] 向驱动控制部754输入目标温度 T 的信息和由温度传感器51探测到的温度的信息。然后, 驱动控制部754使用例如从目标温度 T 减去探测温度所得到的差, 通过例如PI控制来向喷射器24和旁路阀33输出指令信号, 使得阴极气体的温度成为目标温度 T 。例如, 在探测温度低于目标温度 T 的情况下, 为了使阴极气体的温度上升而对喷射器24 (追加燃料供给单元) 输出用于使追加燃料增量 (用于提高占空比) 的指令信号。相反, 在探测温度高于目标温度 T 的情况下, 为了使绕过 (bypass) 热交换器35的阴极气体的流量增加以使阴极气体的温度降低, 而对旁路阀33输出用于控制开度的指令信号。关于针对喷射器24的指令信号和针对旁路阀33的指令信号, 既存在仅输出其中某一方的情况, 还存在同时输出双方的情况。

[0108] <控制流程>

[0109] 图6是空气温度控制部75的控制流程图。接着, 说明空气温度控制部75中的控制流程。

[0110] 首先, 在步骤S1中, 第一温度差运算部751计算从第一燃料电池堆11的阴极的出口温度减去入口温度所得到的差 $\Delta T1$ 。

[0111] 在步骤S2中, 第二温度差运算部752计算从第二燃料电池堆12的阴极的出口温度减去入口温度所得到的差 $\Delta T2$ 。此外, 步骤S1和步骤S2的工序也可以以相反的顺序进行, 另外还可以同时进行。

[0112] 在步骤S3中, 目标温度运算部753判断是否为 $\Delta T2 < 0$ 且 $\Delta T1 + \Delta T2 < 0$, 若为“是”, 则移至步骤S4, 若为“否”, 则移至步骤S5。

[0113] 在步骤S4中, 目标温度运算部753判断为燃料电池模块1中的第二燃料电池堆12的阴极的入口 (该入口处的阴极气体的温度) 是成为最高温度的位置, 通过 $T = T_{max}$ 来计算目标温度 T 并将其输出到驱动控制部754。

[0114] 在步骤S5中, 目标温度运算部753判断是否为 $\Delta T1 > 0$, 若为“是”, 则移至步骤S6, 若为“否”, 则移至步骤S7。

[0115] 在步骤S6中, 目标温度运算部753判断为燃料电池模块1中的第一燃料电池堆11的阴极的出口 (该出口处的阴极气体的温度) 是成为最高温度的位置, 通过 $T = T_{max} - \Delta T1 - \Delta T2$ 来计算目标温度 T 并将其输出到驱动控制部754。

[0116] 在步骤S7中,目标温度运算部753判断为燃料电池模块1中的第二燃料电池堆12的阴极的出口(该出口处的阴极气体的温度)是成为最高温度的位置,通过 $T = T_{\max} - \Delta T_2$ 来计算目标温度 T 并将其输出到驱动控制部754。

[0117] 只要燃料电池模块1持续发电,则空气温度控制部75重复上述的步骤S1至S7的工序。

[0118] 如上述这样,在将温度传感器51配置于第一燃料电池堆11的阴极的出口且将该阴极的出口温度设为目标温度的情况下,也能够通过与上述同样的控制流程来计算目标温度。但是,目标温度运算部753按照数式2来计算目标温度。

[0119] 即,在步骤S4中,目标温度运算部753通过 $T = T_{\max} + \Delta T_1 + \Delta T_2$ 来计算目标温度 T 。另外,在步骤S6中,目标温度运算部753通过 $T = T_{\max}$ 来计算目标温度 T 。并且,在步骤S7中,目标温度运算部753通过 $T = T_{\max} + \Delta T_1$ 来计算目标温度 T 。

[0120] <本实施方式的效果>

[0121] 如以上所说明的那样,根据本实施方式的燃料电池系统,燃料电池系统包括:燃料电池模块1,其包括串联配置的第一燃料电池(第一燃料电池堆11)和第二燃料电池(第二燃料电池堆12),并且燃料气体(阳极气体)的流通方向为从第一燃料电池朝向第二燃料电池的方向,氧化剂气体(阴极气体)的流通方向为从第二燃料电池(第二燃料电池堆12)朝向第一燃料电池(第一燃料电池堆11)的方向;以及氧化剂气体温度调整装置(温度调整装置38),其调整向燃料电池模块1供给的氧化剂气体(阴极气体)的温度,至少第一燃料电池(第一燃料电池堆11)能够使燃料气体(阳极气体)重整,该燃料电池系统还包括温度控制单元(空气温度控制部75),该温度控制单元以使第一燃料电池(第一燃料电池堆11)的温度和第二燃料电池(第二燃料电池堆12)的温度不超过规定的上限温度的方式设定向燃料电池模块1供给的氧化剂气体(阴极气体)的目标温度,并基于该目标温度来控制氧化剂气体温度调整装置(温度调整装置38),在将目标温度设为 T 、将上限温度设为 $T_{\max}$ 、将从第一燃料电池(第一燃料电池堆11)的出口温度减去入口温度所得到的差设为 ΔT_1 、将从第二燃料电池(第二燃料电池堆12)的出口温度减去入口温度所得到的差设为 ΔT_2 时,温度控制单元(空气温度控制部75)将目标温度 T 计算为: $T = T_{\max} - \Delta T_1 - \Delta T_2$ ($\Delta T_1 > 0$), $T = T_{\max} - \Delta T_2$ ($\Delta T_1 \leq 0$), $T = T_{\max}$ ($\Delta T_2 < 0$ 且 $\Delta T_1 + \Delta T_2 < 0$)。

[0122] 根据上述结构,在燃料电池模块1中的成为最高温度的位置是第一燃料电池(第一燃料电池堆11)的阴极的出口或第二燃料电池(第二燃料电池堆12)的阴极的出口的情况下,也能够通过计算 ΔT_1 和 ΔT_2 来确定成为最高温度的位置,并与其对应地计算目标温度 T 。因而,即使是至少包括发生重整反应的第一燃料电池(第一燃料电池堆11)的燃料电池模块1,也能够以简易的结构来实现在不超过上限温度且维持高温的状态下进行发电的控制。

[0123] 另外,根据上述结构,在燃料电池模块1中成为最高温度的位置是第二燃料电池(第二燃料电池堆12)的阴极的入口的情况下,也能够通过计算 ΔT_1 和 ΔT_2 来确定成为最高温度的位置是该入口,并与其对应地计算目标温度 T 。因而,即使是至少包括发生重整反应的第一燃料电池(第一燃料电池堆11)的燃料电池模块1,也能够以简易的结构来实现在不超过上限温度且维持高温的状态下进行发电的控制。

[0124] 在本实施方式中,温度控制单元(空气温度控制部75)基于伴随第一燃料电池(第一燃料电池堆11)的发电而产生的发热量、在向第一燃料电池(第一燃料电池堆11)供给的

燃料气体(阳极气体)的重整反应中产生的吸热量、向第一燃料电池(第一燃料电池堆11)的外部的散热量、以及向第一燃料电池(第一燃料电池堆11)供给的氧化剂气体(阴极气体)的流量,来计算 $\Delta T1$,温度控制单元基于伴随第二燃料电池(第二燃料电池堆12)的发电而产生的发热量、向第二燃料电池(第二燃料电池堆12)的外部的散热量、以及向第二燃料电池(第二燃料电池堆12)供给的氧化剂气体(阴极气体)的流量,来计算 $\Delta T2$ 。

[0125] 根据上述结构,无需实际检测温度就能够计算 $\Delta T1$ 和 $\Delta T2$ 。

[0126] 在本实施方式中,还具备向第一燃料电池(第一燃料电池堆11)的阳极供给氧的氧供给源(鼓风机32),至少在第一燃料电池(第一燃料电池堆11)中,能够通过氧和燃料气体(阳极气体)发生部分氧化反应,温度控制单元(空气温度控制部75)基于伴随第一燃料电池(第一燃料电池堆11)的发电而产生的发热量、由部分氧化反应产生的发热量、基于从向第一燃料电池(第一燃料电池堆11)供给的燃料气体(阳极气体)的流量减去由于部分氧化反应而失去的燃料气体(阳极气体)的流量所得到的差的重整反应中产生的吸热量、向第一燃料电池(第一燃料电池堆11)的外部的散热量、以及向第一燃料电池(第一燃料电池堆11)供给的氧化剂气体(阴极气体)的流量,来计算 $\Delta T1$,温度控制单元基于伴随第二燃料电池(第二燃料电池堆12)的发电而产生的发热量、向第二燃料电池(第二燃料电池堆12)的外部的散热量、以及向第二燃料电池(第二燃料电池堆12)供给的氧化剂气体(阴极气体)的流量,来计算 $\Delta T2$ 。

[0127] 根据上述结构,在第一燃料电池(第一燃料电池堆11)中执行部分氧化反应的情况下,也无需实际检测温度就能够计算 $\Delta T1$ 和 $\Delta T2$ 。

[0128] 在本实施方式中,氧化剂气体温度调整装置(温度调整装置38)具备:燃烧器4,其使从燃料电池模块1排出的燃料排气(阳极排气)与氧化剂排气(阴极排气)混合并燃烧;热交换器35,其将从燃烧器4排出的燃烧气体与向燃料电池模块1供给的氧化剂气体(阴极气体)进行热交换;以及追加燃料供给单元(喷射器24),其向燃烧器4供给追加燃料,温度控制单元(空气温度控制部75)控制追加燃料供给单元(喷射器24),使得氧化剂气体(阴极气体)成为目标温度。

[0129] 从外部摄入的的空气的温度相当于外部气温,由于是低到直接将其供给到燃料电池模块1(SOFC)会妨碍发电的程度的低温,因此需要加热。另一方面,需要向燃料电池模块1投入比发电所需要的燃料过量的燃料,会发生剩余。因此,氧化剂气体温度调整装置(温度调整装置38)使从燃料电池模块1排出的高温的空气(阴极排气)及使剩余的燃料(阳极排气)在燃烧器4中燃烧所得到的高热的燃烧气体与向燃料电池模块1供给的空气(阴极气体)进行热交换。然后,氧化剂气体温度调整装置(温度调整装置38)向燃料电池模块1供给通过该热交换而被加热的该空气(阴极气体),由此成为高效率的燃料电池系统。

[0130] 在此基础上,在被加热的空气(阴极气体)的温度没有达到目标温度的情况下,向燃烧器4供给追加燃料来使燃烧气体的温度上升从而使空气(阴极气体)的热交换量增加,由此能够使空气(阴极气体)的温度达到目标温度。

[0131] 在本实施方式中,包括向燃料电池模块1供给氧化剂气体(阴极气体)的氧化剂气体供给源(鼓风机32),氧化剂气体温度调整装置(温度调整装置38)具备:燃烧器4,其使从燃料电池模块1排出的燃料排气(阳极排气)与氧化剂排气(阴极排气)混合并燃烧;热交换器35,其将氧化剂气体供给源(鼓风机32)与燃料电池模块1连接,并且将从燃烧器4排出的

燃烧气体与向燃料电池模块1供给的氧化剂气体(阴极气体)进行热交换;旁路流路34,从氧化剂气体供给源(鼓风机32)绕过热交换器35来向燃料电池模块1供给氧化剂气体(阴极气体);流量调整单元(旁路阀33),其调整热交换器35与旁路流路34中的氧化剂气体(阴极气体)的流量的比例;以及追加燃料供给单元(喷射器24),其向燃烧器4供给追加燃料,温度控制单元(空气温度控制部75)控制流量调整单元(旁路阀33)和/或追加燃料供给单元(喷射器24),使得氧化剂气体(阴极气体)成为目标温度。

[0132] 根据上述结构,在被加热的空气(阴极气体)的温度高于目标温度的情况下,通过使在旁路流路34中流通的空氣的流量增加以使与热交换器35的热交换量减少,能够使空气(阴极气体)的温度迅速降低至目标温度。相反,在被加热的空气(阴极气体)的温度低于目标温度的情况下,通过使在旁路流路34中流通的空氣的流量减少以使与热交换器35的热交换量增加,能够使空气(阴极气体)的温度迅速上升至目标温度。

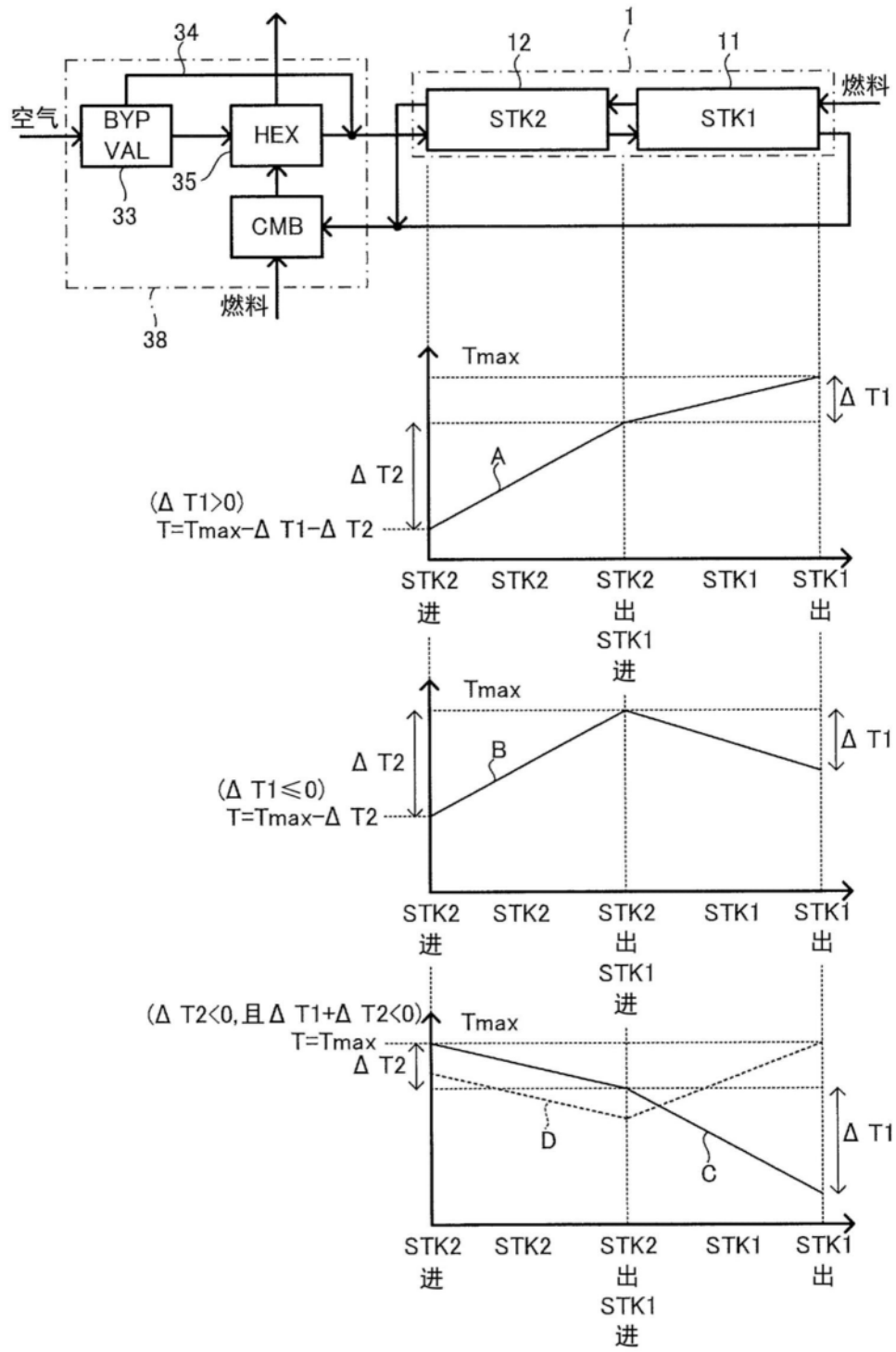


图1

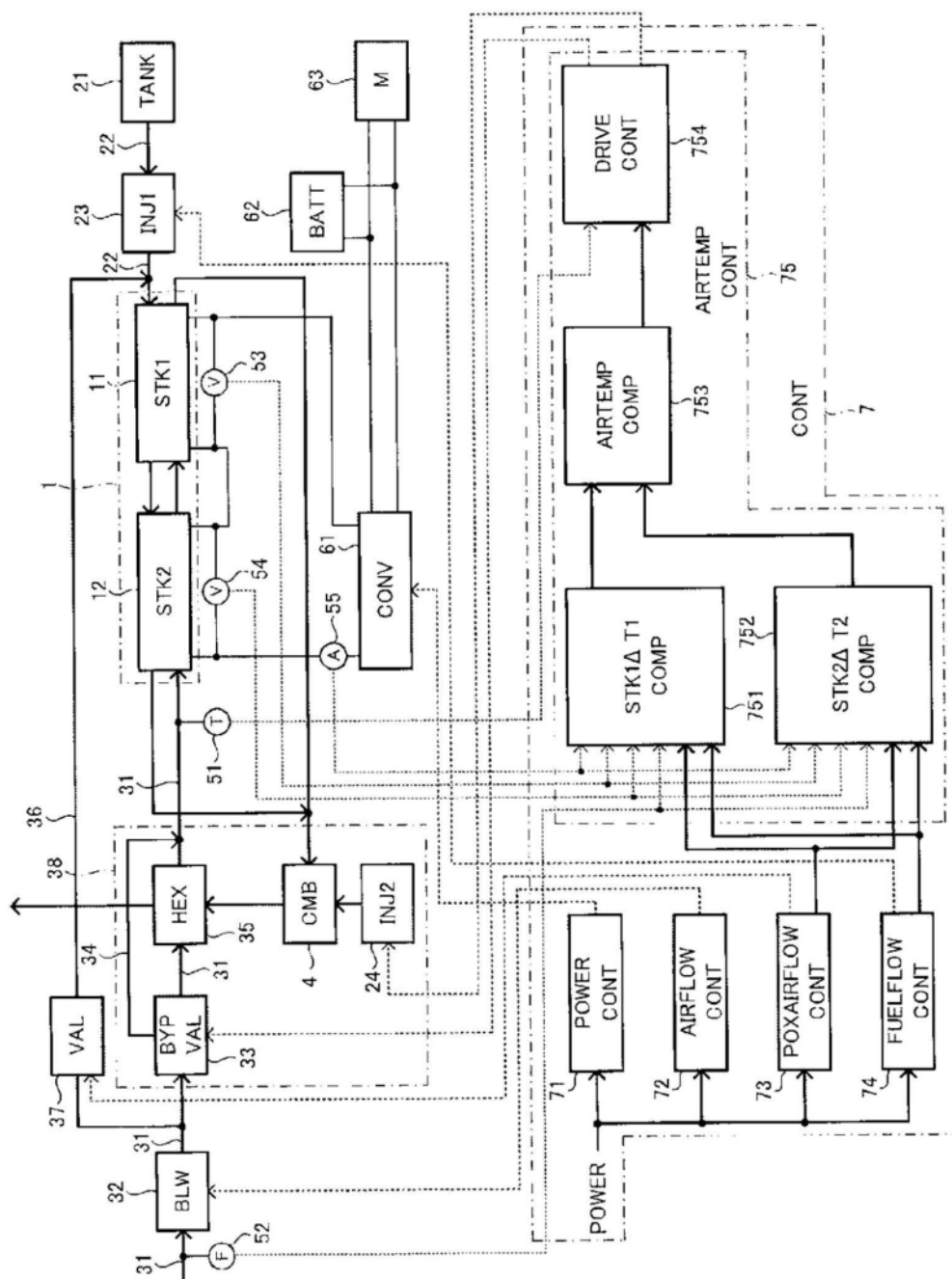


图2

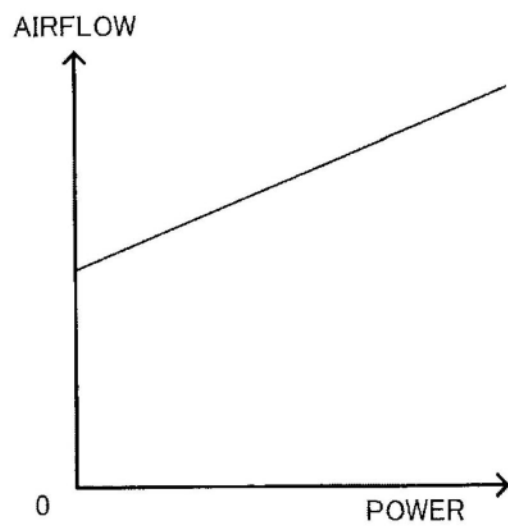


图3

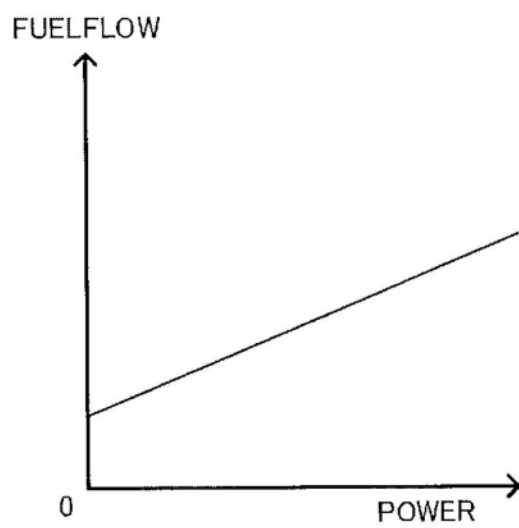


图4

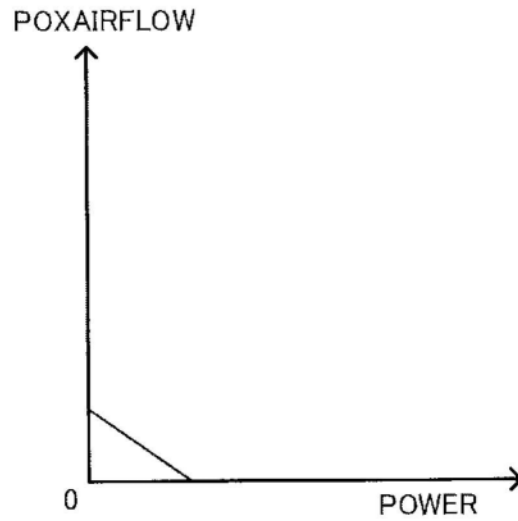


图5

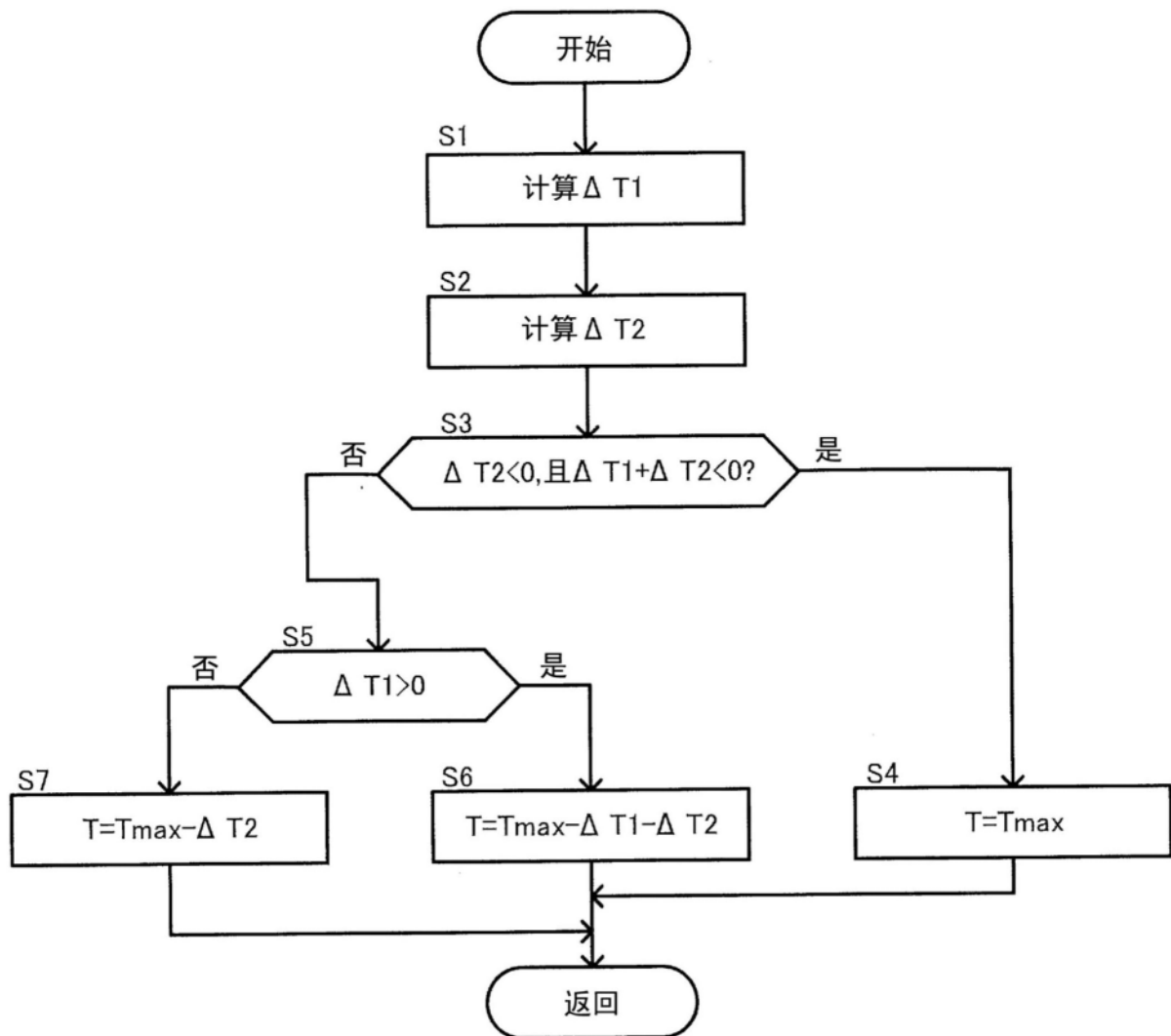


图6