



(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 107925100 B

(45)授权公告日 2019.11.19

(21)申请号 201580082874.9

(74)专利代理机构 北京林达刘知识产权代理事

(22)申请日 2015.09.04

务所(普通合伙) 11277

(65)同一申请的已公布的文献号

代理人 刘新宇

申请公布号 CN 107925100 A

(51)Int.CI.

(43)申请公布日 2018.04.17

H01M 8/04007(2016.01)

(85)PCT国际申请进入国家阶段日

H01M 8/0606(2016.01)

2018.03.02

(86)PCT国际申请的申请数据

(56)对比文件

PCT/JP2015/075176 2015.09.04

JP 2013020705 A, 2013.01.31,

(87)PCT国际申请的公布数据

JP 2013008456 A, 2013.01.10,

W02017/037938 JA 2017.03.09

JP H0547395 A, 1993.02.26,

(73)专利权人 日产自动车株式会社

审查员 焦延峰

地址 日本神奈川县

(72)发明人 矢口竜也

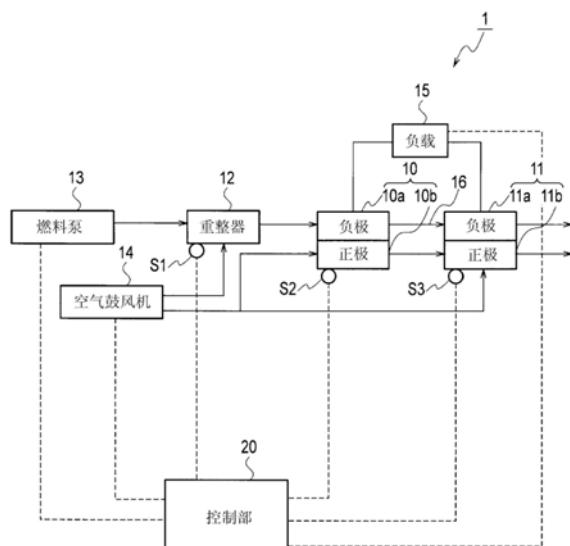
权利要求书1页 说明书9页 附图8页

(54)发明名称

燃料电池系统以及燃料电池控制方法

(57)摘要

前级燃料电池(10)与后级燃料电池(11)经由燃料流路(16)来连接,具备:重整器(12),其向前级燃料电池(10)供给重整气体;获取单元(S2),其获取前级燃料电池(10)的发热量和吸热量;以及控制单元(20),其在由获取单元(S2)获取到的吸热量比由获取单元(S2)获取到的发热量大的情况下,对前级燃料电池(10)的电流量、向重整器(12)供给的空气流量以及前级燃料电池(10)的温度中的至少一个进行控制。



1. 一种燃料电池系统，具有前级燃料电池以及经由燃料流路来与所述前级燃料电池连接的后级燃料电池，该燃料电池系统的特征在于，具备：

重整器，其对燃料进行重整，向所述前级燃料电池供给重整气体；以及

控制单元，其基于设定的所述前级燃料电池的温度和电流量来预测所述前级燃料电池的发热量，并预测基于向所述重整器投入的燃料和所述重整器的动作温度决定的重整气体在所述前级燃料电池内进行内部重整而产生的吸热量，

其中，在预测出的所述吸热量比预测出的所述发热量大的情况下，所述控制单元对所述前级燃料电池的电流量、向所述重整器供给的空气流量以及所述前级燃料电池的温度中的至少一个进行控制。

2. 根据权利要求1所述的燃料电池系统，其特征在于，

所述控制单元基于系统效率来设定运转条件，该系统效率是所述重整器的重整效率、所述前级燃料电池及所述后级燃料电池的发电效率以及燃料利用率之积，该燃料利用率表示发电所利用的所述燃料相对于向燃料电池系统供给的所述燃料的比例。

3. 根据权利要求2所述的燃料电池系统，其特征在于，

在所述吸热量比所述发热量大的情况下，所述控制单元使所述前级燃料电池的电流量增加。

4. 根据权利要求3所述的燃料电池系统，其特征在于，

所述控制单元在增加了所述电流量时，在所述发电效率相对于所述电流量的斜率为正的情况下使所述电流量进一步增加，在所述斜率为零或负的情况下预测系统效率。

5. 根据权利要求4所述的燃料电池系统，其特征在于，

在所述发电效率大于仅利用所述后级燃料电池进行发电时的第二发电效率的情况下，所述控制单元向所述重整器供给空气，在所述发电效率小于所述第二发电效率的情况下，所述控制单元降低所述前级燃料电池的温度。

6. 一种燃料电池系统的控制方法，所述燃料电池系统具有前级燃料电池以及经由燃料流路来与所述前级燃料电池连接的后级燃料电池，所述燃料电池系统的控制方法的特征在于，

对燃料进行重整，向所述前级燃料电池供给重整气体；

基于设定的所述前级燃料电池的温度和电流量来预测所述前级燃料电池的发热量，并预测基于向重整器投入的燃料和所述重整器的动作温度决定的重整气体在所述前级燃料电池内进行内部重整而产生的吸热量；以及

在预测出的所述吸热量比预测出的所述发热量大的情况下，对所述前级燃料电池的电流量、向重整器供给的空气流量以及所述前级燃料电池的温度中的至少一个进行控制。

燃料电池系统以及燃料电池控制方法

技术领域

[0001] 本发明涉及一种燃料电池系统以及燃料电池控制方法。

背景技术

[0002] 一般的固体电解质型燃料电池在冷机时启动上需要升温时间,以往的燃料电池系统主要被使用于冷机时启动频度少的固置型。但是,想要将燃料电池系统应用于车辆等移动体的期望多,专利文献1提出了具备小型燃料电池堆和大型燃料电池堆以兼顾移动体所要求的急速启动性和大输出的多级式燃料电池堆。

[0003] 专利文献1:欧洲专利EP1507302号公报

发明内容

[0004] 发明要解决的问题

[0005] 另外,在专利文献1中,小型燃料电池堆与大型燃料电池堆的燃料配管串联连接。因此,要在整个燃料电池系统中使用的重整气体被集中供给到前级的小型燃料电池堆。其结果,在小型燃料电池堆发电时,重整气体中包含的大量的甲烷发生大的吸热反应,小型燃料电池堆的温度维持变得困难。因此,需要将发电用空气加热到小型燃料电池堆动作温度以上,产生燃料电池系统整体的发电效率下降这样的问题。

[0006] 本发明是鉴于上述问题而完成的,其目的在于提供一种能够减少用于对发电用空气进行加热的燃料导入从而提高发电效率的燃料电池系统以及燃料电池控制方法。

[0007] 用于解决问题的方案

[0008] 本发明的一个方式所涉及的燃料电池系统对燃料进行重整,向前级燃料电池供给重整气体,获取前级燃料电池的发热量和吸热量,在所获取到的吸热量比发热量大的情况下,对前级燃料电池的电流量、向重整器供给的空气流量以及前级燃料电池的温度中的至少一个进行控制。

[0009] 发明的效果

[0010] 根据本发明,能够减少用于对发电用空气进行加热的燃料导入,提高发电效率。

附图说明

[0011] 图1是本发明的第一实施方式所涉及的燃料电池系统的结构图。

[0012] 图2是在本发明的第一实施方式所涉及的燃料电池系统中参照的表示重整效率 η_{ref} 与 O_2/C 之间的关系的对应图。

[0013] 图3是在本发明的第一实施方式所涉及的燃料电池系统中参照的表示吸热量 Q_{DR} 与 $(O_2 + I_1 N_1 / 4F) / C$ 之间的关系的对应图。

[0014] 图4是在本发明的第一实施方式所涉及的燃料电池系统中参照的表示发电效率 η_{FC} 与 $I_1 N_1 / (I_1 N_1 + I_2 N_2)$ 之间的关系的对应图。

[0015] 图5是在本发明的第一实施方式所涉及的燃料电池系统中参照的表示发热量 Q_1 与

$I_1N_1 / (I_1N_1 + I_2N_2)$ 之间的关系的对应图。

[0016] 图6是说明本发明的第一实施方式所涉及的燃料电池系统1的动作例的流程图。

[0017] 图7是说明本发明的第一实施方式所涉及的燃料电池系统1的动作例的流程图。

[0018] 图8是在本发明的第二实施方式所涉及的燃料电池系统中参照的表示发电效率 η_{FC} 与 $I_1N_1 / (I_1N_1 + I_2N_2)$ 之间的关系的对应图。

[0019] 图9是本发明的第二实施方式所涉及的表示吸热量 Q_{DR} 与 $(O_2 + I_1N_1 / 4F) / C$ 之间的关系的对应图。

[0020] 图10是本发明的第二实施方式所涉及的表示发电效率 η_{FC} 与 $I_1N_1 / (I_1N_1 + I_2N_2)$ 之间的关系的对应图。

[0021] 图11是本发明的第二实施方式所涉及的表示发热量 Q_1 与 $I_1N_1 / (I_1N_1 + I_2N_2)$ 之间的关系的对应图。

[0022] 图12是说明本发明的第二实施方式所涉及的燃料电池系统1的动作例的流程图。

[0023] 图13是说明本发明的第二实施方式所涉及的燃料电池系统1的动作例的流程图。

具体实施方式

[0024] 下面,参照附图来说明本发明的实施方式。在附图的记载中,对同一部分标注同一标记并省略说明。

[0025] [第一实施方式]

[0026] 参照图1来说明第一实施方式所涉及的燃料电池系统1的结构。如图1所示,燃料电池系统1具备:前级燃料电池10,其具备负极10a和正极10b;后级燃料电池11,其具备负极11a和正极11b;以及重整器12。从重整器12送出的重整气体被供给到负极10a,还经由燃料流路16被供给到负极11a。

[0027] 另外,燃料电池系统1具备:燃料泵13,其向重整器12供给新的原燃料;空气鼓风机14,其向重整器12、正极10b及正极11b供给空气;负载15,其与前级燃料电池10及后级燃料电池11连接;以及控制部20。并且,燃料电池系统1具备:温度传感器S1,其检测重整器12的温度 T_{ref} ;传感器S2(获取单元),其检测前级燃料电池10的温度 T_1 ;以及温度传感器S3,其检测后级燃料电池11的温度 T_2 。

[0028] 前级燃料电池10和后级燃料电池11例如是固体氧化物型燃料电池(SOFC;Solid Oxide Fuel Cell)。前级燃料电池10和后级燃料电池11使向负极10a及负极11a供给的重整气体与向正极10b及正极11b供给的空气发生反应来产生电力,将该电力供给到负载15。

[0029] 重整器12使用催化剂反应来对从蒸发器(未图示)供给的水蒸气、由燃料泵13供给的新的原燃料以及从空气鼓风机14供给的空气进行重整,将重整后的燃料(包含氢气的重整气体)供给到负极10a。此时重整器12将在后级燃料电池11的负极11a中使用的重整气体也同时供给到负极10a。

[0030] 控制部20(控制单元)是对燃料电池系统1进行统一控制的装置,例如是由CPU、ROM、RAM、将它们连接的数据总线以及输入输出接口构成的计算机。控制部20与燃料泵13、空气鼓风机14、负载15及各温度传感器S1~S3连接。控制部20当获取到负载15的输出要求时获取各温度传感器S1~S3的检测信号。控制部20使用所获取到的检测信号来向燃料泵13、空气鼓风机14输出控制信号,对从燃料泵13送出的燃料以及从空气鼓风机14送出的空

气量进行控制。然后，控制部20从前级燃料电池10和后级燃料电池11供给满足负载15的输出要求的电力。

[0031] 另外，控制部20存储有在燃料电池系统1的控制中使用的对应图。具体地说，控制部20存储有图2～5所示的对应图。结合后述的图7的流程图来说明图2～5所示的对应图。

[0032] 接着，参照图6和图7所示的流程图来说明如上所述那样构成的本发明的第一实施方式所涉及的燃料电池系统1的作用。首先，参照图6来说明燃料电池系统1的概要性动作。

[0033] 在步骤S101中，控制部20获取负载15的要求输出。

[0034] 在步骤S102中，控制部20设定用于满足负载15的要求输出的运转目标。

[0035] 在步骤S103中，控制部20基于在步骤S102中设定的运转目标来执行前级燃料电池10和后级燃料电池11的运转。

[0036] 接着，参照图7来说明图6所示的步骤S102的详细动作。

[0037] 在步骤S11中，控制部20对重整器12的温度T_{ref}、前级燃料电池10的温度T₁、后级燃料电池11的温度T₂进行检测。

[0038] 在步骤S12中，控制部20设定O₂/C。O₂/C是向重整器12投入的空气及新的原燃料的氧摩尔流量与碳原子摩尔流量比。

[0039] 在步骤S13中，控制部20参照图2所示的对应图，来预测将在步骤S12中设定的O₂/C投入到重整器12的情况下重整器12的重整效率η_{ref}和温度T_{ref}。如图2所示，当O₂/C增加时重整效率η_{ref}下降。重整效率η_{ref}用式(1)表示。

[0040] [数式1]

$$\eta_{ref} = \Delta H_{ref} / \Delta H \cdots (1)$$

[0042] 在此，ΔH_{ref}是重整后焓变化量，ΔH是投入焓变化量。并且，作为焓变化的基准，在此采用低位发热量的定义。本案件并不限定于该定义。

[0043] 在步骤S14中，控制部20设定前级燃料电池10的温度T₁。

[0044] 在步骤S15中，控制部20设定前级燃料电池10的电流I₁。

[0045] 在步骤S16中，控制部20使用在步骤S14和步骤S15中设定的温度T₁和电流I₁来预测前级燃料电池10的发电量P₁和发热量Q₁。

[0046] 在此，说明发热量Q₁。

[0047] 在第一实施方式中，要在前级燃料电池10和后级燃料电池11中使用的重整气体被供给到负极10a。即，两个燃料电池进行发电所需的重整气体被供给到负极10a。重整气体包含甲烷，因此会向负极10a供给大量的甲烷。

[0048] 在前级燃料电池10进行发电时，由于所产生的电流量而氧化物离子穿过前级燃料电池10内部的电解质地移动。然后，重整气体、氧化物离子以及电子发生反应，由此产生与从化学反应的生成热减去电力所得到的差相当的发热量Q₁。发热量Q₁用式(2)表示。

[0049] [数式2]

$$Q_1 = \Delta H_1 - P_1 \cdots (2)$$

[0051] 在此，ΔH₁是前级燃料电池10的发电利用燃料焓变化量。

[0052] 另一方面，伴随前级燃料电池10的动作温度和氧化物离子的移动，由重整器12的动作温度和所供给的新的原燃料这样的条件决定的重整气体在前级燃料电池10内进行内部重整。更详细地说，产生利用被导入到前级燃料电池10的大量的甲烷和水来生成氢和CO

的水蒸气重整反应。该反应是吸热反应,产生吸热量 Q_{DR} 。当该吸热量 Q_{DR} 超过发热量 Q_1 时,前级燃料电池10的运转点发生偏移,燃料电池系统1整体的效率下降。吸热量 Q_{DR} 用式(3)表示。

[0053] [数式3]

$$Q_{DR} = \Delta H_{out1} + \Delta H_1 - \Delta H_{ref} \cdots (3)$$

[0055] 在此, ΔH_{out1} 是前级燃料电池10出口的未利用燃料焓变化量。

[0056] 如图3所示,在向重整器12投入的空气及新的原燃料的氧摩尔流量与碳原子摩尔流量比以及伴随在前级燃料电池10进行发电时产生的电流 I_1 而移动的氧化物离子的氧量 $I_1/4F$ (F:法拉第常数)同吸热量 Q_{DR} 之间具有相关性。即,当向重整器12投入的空气量 O_2 或前级燃料电池10的电流量 I_1N_1 增加时,吸热量 Q_{DR} 下降。因此,控制部20能够参照图3所示的对应图来控制空气量 O_2 或前级燃料电池10的电流量 I_1N_1 ,由此使吸热量 Q_{DR} 下降。此外, N_1 是前级燃料电池10的堆层叠级数。

[0057] 在步骤S17中,控制部20预测后级燃料电池11的发电量 P_2 和电流 I_2 。具体地说,控制部20从整个燃料电池系统1的发电量 P 减去前级燃料电池10的发电量 P_1 来预测发电量 P_2 。另外,控制部20使用预测出的发电量 P_2 来预测后级燃料电池11的电流 I_2 。

[0058] 在步骤S18中,控制部20使用电流 I_1 、电流 I_2 以及燃料利用率 η_{FU} 来决定向重整器12供给的新的原燃料的流量。燃料利用率 η_{FU} 是指在发电中利用的燃料相对于向燃料电池系统1投入的新的原燃料的比例。燃料利用率 η_{FU} 用式(4)表示。

[0059] [数式4]

$$\eta_{FU} = \Delta H_{in} / \Delta H_{ref} \cdots (4)$$

[0061] 在此, ΔH_{in} 是发电利用燃料的总焓变化量。在将前级燃料电池10的发电利用燃料焓变化量设为 ΔH_1 、将后级燃料电池11的发电利用燃料焓变化量设为 ΔH_2 的情况下, ΔH_{in} 用式(5)表示。

[0062] [数式5]

$$\Delta H_{in} = \Delta H_1 + \Delta H_2 \cdots (5)$$

[0064] 在步骤S19中,控制部20预测前级燃料电池10的吸热量 Q_{DR} 。

[0065] 在步骤S20中,控制部20判断发热量 Q_1 是否大于吸热量 Q_{DR} 。在发热量 Q_1 大于吸热量 Q_{DR} 的情况下(步骤S20中“是”),处理进入步骤S21。另一方面,在发热量 Q_1 为吸热量 Q_{DR} 以下的情况下(步骤S20中“否”),处理进入步骤S24。

[0066] 在步骤S21中,控制部20预测系统效率 η_S 。系统效率 η_S 是指表示燃料电池系统1整体的效率的指标,值越大则表示效率越佳。系统效率 η_S 用式(6)表示。

[0067] [数式6]

$$\eta_S = P / \Delta H = \eta_{ref} \times \eta_{FC} \times \eta_{FU} \cdots (6)$$

[0069] 在此, η_{FC} 是前级燃料电池10和后级燃料电池11的发电效率。在后面叙述该发电效率 η_{FC} 。如上述式(6)所示,系统效率 η_S 用重整效率 η_{ref} 、发电效率 η_{FC} 以及燃料利用率 η_{FU} 之积表示。

[0070] 在步骤S22中,控制部20判断在试验范围内系统效率 η_S 是否最大。在系统效率 η_S 最大的情况下(步骤S22中“是”),处理进入步骤S23。另一方面,在系统效率 η_S 不是最大的情况下(步骤S22中“否”),处理进入步骤S24。

[0071] 在步骤S23中,控制部20存储试验结果。具体地说,控制部20记录所设定的 O_2/C 、电

流 I_1 、温度 T_1 。

[0072] 在步骤S24中,控制部20判断是否对电流 I_1 在规定范围内全部进行了探讨。在对电流 I_1 在规定范围内全部进行了探讨的情况下(步骤S24中“是”),处理进入步骤S25。另一方面,在未对电流 I_1 在规定范围内全部进行了探讨的情况下(步骤S24中“否”),处理返回到步骤S15。

[0073] 在此,说明电流 I_1 的规定范围。

[0074] 如图4所示,当取发电效率 η_{FC} 为纵轴、取前级燃料电池10的电流量 I_1N_1 相对于前级燃料电池10及后级燃料电池11的总电流量 ($I_1N_1+I_2N_2$) 的比例为横轴时,纵轴与横轴的关系为具有规定的峰值的抛物线。此外, N_2 是后级燃料电池11的堆层叠级数。发电效率 η_{FC} 用式(7)表示。

[0075] [数式7]

$$\eta_{FU} = P_1 + P_2 / \Delta H_{in} \cdots (7)$$

[0077] 在图4所示的峰值之前,随着使电流 I_1 增加,发电效率 η_{FC} 上升。另外,在即将到峰值之处存在发热量 Q_1 超过吸热量 Q_{DR} 的点。更详细地说,如图5所示,具有随着电流量 I_1N_1 增加而发热量 Q_1 上升的关系,存在发热量 Q_1 超过吸热量 Q_{DR} 的点。因此,控制部20参照图4和图5所示的对应图,来在发热量 Q_1 超过吸热量 Q_{DR} 、且发电效率 η_{FC} 变高的范围内搜索电流 I_1 。

[0078] 此外,如图3所示的对应图中说明的那样电流量 I_1N_1 随着增加而吸热量 Q_{DR} 下降是由于:如图5的对应图所示,随着电流量 I_1N_1 增加而发热量 Q_1 上升。

[0079] 在步骤S25中,控制部20判断是否对前级燃料电池10的温度 T_1 在规定范围内全部进行了探讨。在对温度 T_1 在规定范围内全部进行了探讨的情况下(步骤S25中“是”),处理进入步骤S26。另一方面,在未对温度 T_1 在规定范围内全部进行了探讨的情况下(步骤S25中“否”),处理返回到步骤S14。

[0080] 在图4的对应图中,说明了在即将到峰值之处存在发热量 Q_1 超过吸热量 Q_{DR} 的点。换言之,这意味着在电流量 I_1N_1 小的区域发热量 Q_1 低于吸热量 Q_{DR} 。另外,在电流量 I_1N_1 小、且重整器12的出口温度低于前级燃料电池10的温度 T_1 的情况下发热量 Q_1 低于吸热量 Q_{DR} 。因此,控制部20在规定范围内设定成前级燃料电池10的温度 T_1 小于重整器12的出口温度,搜索发热量 Q_1 超过吸热量 Q_{DR} 的温度 T_1 。

[0081] 在步骤S26中,控制部20判断是否对 O_2/C 在规定范围内全部进行了探讨。在对 O_2/C 在规定范围内全部进行了探讨的情况下(步骤S26中“是”),处理进入步骤S27。另一方面,在未对 O_2/C 在规定范围内全部进行了探讨的情况下(步骤S26中“否”),处理返回到步骤S12。如图2所示,随着 O_2/C 增加而重整效率 η_{ref} 减少。另一方面,如图3所示,随着 O_2/C 增加而吸热量 Q_{DR} 减少。因而,控制部20搜索使发热量 Q_1 超过吸热量 Q_{DR} 且使效率变高的 O_2/C 。

[0082] 在步骤S27中,控制部20将在步骤S23中存储的 O_2/C 、电流 I_1 、温度 T_1 设定为运转条件。

[0083] 如以上所说明的那样,根据第一实施方式所涉及的燃料电池系统1,能够得到以下的作用效果。

[0084] 燃料电池系统1通过对前级燃料电池10的电流量 I_1N_1 、向重整器12供给的空气流量以及前级燃料电池10的温度 T_1 中的至少一个进行控制,来预测前级燃料电池10的发热量 Q_1 和吸热量 Q_{DR} ,搜索吸热量 Q_{DR} 低于发热量 Q_1 的运转点。由此,不需要对发电用空气进行加热使

得吸热量 Q_{DR} 低于发热量 Q_1 ,燃料电池系统1能够以高效率进行运转。

[0085] 另外,燃料电池系统1基于系统效率 η_S 来设定前级燃料电池10的温度 T_1 、前级燃料电池10的电流量 I_1N_1 、向重整器12供给的空气流量。由此,燃料电池系统1能够设定高效率的运转点,能够以高效率进行运转。

[0086] 另外,燃料电池系统1使电流量 I_1N_1 增加来使发热量 Q_1 增加,从而使吸热量 Q_{DR} 下降。即,燃料电池系统1搜索并设定使发热量 Q_1 超过吸热量 Q_{DR} 的电流 I_1 。由此,不需要对发电用空气进行加热使得吸热量 Q_{DR} 低于发热量 Q_1 ,燃料电池系统1能够以高效率进行运转。

[0087] [第二实施方式]

[0088] 接着,说明本发明的第二实施方式。第二实施方式所涉及的燃料电池系统1与前述的第一实施方式之间结构相同,计算运转条件的手法不同。即,在第一实施方式中参照图3~图6所示的各对应图来设定运转条件,但是在第二实施方式中,如下面所示,除了图3~图6,还参照图8~图11的对应图来设定运转条件。下面,参照图12、图13所示的流程图来详细说明第二实施方式所涉及的燃料电池系统的作用。

[0089] 在步骤S51中,控制部20对重整器12的温度 T_{ref} 、前级燃料电池10的温度 T_1 、后级燃料电池11的温度 T_2 进行检测。

[0090] 在步骤S52中,控制部20将 O_2/C 设定为0。

[0091] 在步骤S53中,控制部20将前级燃料电池10的温度 T_1 设定为能够采取的最大值。

[0092] 在步骤S54中,控制部20参照图2所示的对应图,来预测将在步骤S12中设定的 O_2/C 投入到重整器12的情况下的重整效率 η_{ref} 和温度 T_{ref} 。

[0093] 在步骤S55中,控制部20将前级燃料电池10的电流 I_1 设定为0。

[0094] 在步骤S56中,控制部20预测前级燃料电池10的发电量 P_1 和发热量 Q_1 。

[0095] 在步骤S57中,控制部20预测后级燃料电池11的发电量 P_2 和电流 I_2 。具体地说,控制部20从燃料电池系统1整体的发电量 P 减去前级燃料电池10的发电量 P_1 来预测发电量 P_2 。另外,控制部20使用预测出的发电量 P_2 来预测后级燃料电池11的电流 I_2 。

[0096] 在步骤S58中,控制部20使用电流 I_1 、电流 I_2 以及燃料利用率 η_{FU} 来决定向重整器12供给的新的原燃料的流量。

[0097] 在步骤S59中,控制部20预测前级燃料电池10的吸热量 Q_{DR} 。

[0098] 在步骤S60中,控制部20判断发热量 Q_1 是否大于吸热量 Q_{DR} 。在发热量 Q_1 大于吸热量 Q_{DR} 的情况下(步骤S60中“是”),处理进入步骤S61。另一方面,在发热量 Q_1 为吸热量 Q_{DR} 以下的情况下(步骤S60中“否”),处理进入步骤S63。

[0099] 在步骤S61中,控制部20判断斜率 $d\eta_{FC}/dI_1$ 是否为0。在斜率 $d\eta_{FC}/dI_1$ 为0的情况下(步骤S61中“是”),处理进入步骤S67。另一方面,在斜率 $d\eta_{FC}/dI_1$ 不是0的情况下(步骤S61中“否”),处理进入步骤S62。如图8所示,斜率 $d\eta_{FC}/dI_1$ 是发电效率 η_{FC} 相对于前级燃料电池10的电流 I_1 的斜率。

[0100] 在步骤S62中,控制部20判断斜率 $d\eta_{FC}/dI_1$ 是否大于0。在斜率 $d\eta_{FC}/dI_1$ 大于0的情况下(步骤S62中“是”),处理进入步骤S63。另一方面,在斜率 $d\eta_{FC}/dI_1$ 为0以下的情况下(步骤S62中“否”),处理进入步骤S67。

[0101] 在步骤S63中,控制部20判断是否对电流 I_1 在规定范围内全部进行了探讨。在对电流 I_1 在规定范围内全部进行了探讨的情况下(步骤S63中“是”),处理进入步骤S65。另一方

面,在未对电流I₁在规定范围内全部进行了探讨的情况下(步骤S63中“否”),处理进入步骤S64。

[0102] 在步骤S64中,控制部20使电流I₁在规定范围内增加,使处理返回到步骤S56。在步骤S62中斜率dη_{FC}/dI₁不是0且大于0意味着:如图8所示,随着使电流量I₁N₁增加,发电效率η_{FC}接近峰值。因此,在未对电流I₁在规定范围内全部进行了探讨的情况下,控制部20搜索作为图8所示的峰值的电流I₁。此外,图8所示的比(1)靠右侧的区域表示发热量Q₁超过吸热量Q_{DR}的区域。

[0103] 在步骤S65中,控制部20判断是否对O₂/C在规定范围内全部进行了探讨。在对O₂/C在规定范围内全部进行了探讨的情况下(步骤S65中“是”),处理进入步骤S66。另一方面,在未对O₂/C在规定范围内全部进行了探讨的情况下(步骤S65中“否”),处理进入步骤S73。

[0104] 在步骤S66中,控制部20判断是否对前级燃料电池10的温度T₁在规定范围内全部进行了探讨。在对温度T₁在规定范围内全部进行了探讨的情况下(步骤S66中“是”),处理进入步骤S76。另一方面,在未对温度T₁在规定范围内全部进行了探讨的情况下(步骤S66中“否”),处理进入步骤S75。

[0105] 在步骤S67中,控制部20预测系统效率η_S。在步骤S61中斜率dη_{FC}/dI₁为0意味着:如图8所示,发电效率η_{FC}最高。因而,系统效率η_S变高,因此控制部20预测系统效率η_S。另外,斜率dη_{FC}/dI₁为0以下意味着:如图8所示,比峰值靠右侧。在该情况下,随着电流量I₁N₁变大而系统效率η_S下降,但是根据电流量I₁N₁的不同,也存在系统效率η_S高的区域。因此,控制部20预测系统效率η_S。

[0106] 在步骤S68中,控制部20判断在试验范围内系统效率η_S是否最大。在系统效率η_S最大的情况下(步骤S68中“是”),处理进入步骤S69。另一方面,在系统效率η_S不是最大的情况下(步骤S68中“否”),处理进入步骤S70。

[0107] 在步骤S69中,控制部20存储运转条件和系统效率η_S的结果。

[0108] 在步骤S70中,控制部20判断斜率dη_{FC}/dI₁是否为0。在斜率dη_{FC}/dI₁为0的情况下(步骤S70中“是”),处理进入步骤S76。另一方面,在斜率dη_{FC}/dI₁不是0的情况下(步骤S70中“否”),处理进入步骤S71。

[0109] 在步骤S71中,控制部20判断发电效率η_{FC}是否大于发电效率η_{FC2}。发电效率η_{FC2}(第二发电效率)是指在检测出的温度T₂下对于负载15的要求输出仅利用后级燃料电池11来进行发电的情况下的发电效率。在发电效率η_{FC}大于发电效率η_{FC2}的情况下(步骤S71中“是”),处理进入步骤S72。另一方面,在发电效率η_{FC}为发电效率η_{FC2}以下的情况下(步骤S71中“否”),处理进入步骤S74。

[0110] 在步骤S71中,判断发电效率η_{FC}是否大于发电效率η_{FC2}是为了判断运转条件是图8所示的(2)的区域还是(3)的区域。图8所示的(2)的区域是指斜率dη_{FC}/dI₁小于0、且发电效率η_{FC}大于发电效率η_{FC2}的区域。另一方面,图8所示的(3)的区域是指斜率dη_{FC}/dI₁小于0、且发电效率η_{FC}小于发电效率η_{FC2}的区域。

[0111] 在运转条件是图8所示的(2)的区域的情况下,控制部20如后文所述那样使向重整器12供给的空气流量增加。这是由于,如图9所示,通过使向重整器12供给的空气流量增加,来使吸热量Q_{DR}下降。

[0112] 另一方面,在运转条件是图8所示的(3)的区域的情况下,发电效率η_{FC}小于发电效

率 η_{FC2} ，因此仅利用后级燃料电池11进行运转会使燃料电池系统1整体的效率更佳。因此，控制部20降低前级燃料电池10的温度T₁，来使前级燃料电池10的发电量P₁和吸热量Q_{DR}下降。

[0113] 在步骤S72中，控制部20判断吸热量Q_{DR}是否大于0。在吸热量Q_{DR}大于0的情况下（步骤S72中“是”），处理进入步骤S73。另一方面，在吸热量Q_{DR}为0以下的情况下（步骤S72中“否”），处理进入步骤S76。

[0114] 在步骤S73中，控制部20使O₂/C在规定范围内增加，使处理返回到步骤S54。更详细地说，在步骤S73中，运转条件是图8所示的(2)的区域，因此控制部20使O₂/C增加来使吸热量Q_{DR}下降，搜索效率更佳的运转条件。

[0115] 在步骤S74中，控制部20判断前级燃料电池10的温度T₁是否大于重整器12的温度T_{ref}。在温度T₁大于温度T_{ref}的情况下（步骤S74中“是”），处理进入步骤S75。另一方面，在温度T₁为温度T_{ref}以下的情况下（步骤S74中“否”），处理进入步骤S76。

[0116] 在步骤S75中，控制部20使温度T₁在规定范围内降低，使处理返回到步骤S54。如图9所示，随着温度T₁变低，吸热量Q_{DR}下降。更详细地说，随着温度T₁相比于温度T_{ref}变低，吸热量Q_{DR}下降。此外，在图9中温度T₁与温度T₂相同时，温度最高，越是趋向图9所示的对应图的下方，温度T₁越低。

[0117] 另外，如图10所示，随着温度T₁相比于温度T_{ref}变低，发电效率 η_{FC} 的峰值以在小的电流量I_{1N1}处具有峰值的方式移动。另外，如图10所示，发电效率 η_{FC} 的峰值大于发电效率 η_{FC2} ，比箭头靠右侧是发热量Q₁超过吸热量Q_{DR}的区域。即，控制部20能够如图10所示那样降低温度T₁，由此搜索以下的运转条件：在小的电流量I_{1N1}处发电效率 η_{FC} 变高，发热量Q₁超过吸热量Q_{DR}。

[0118] 另外，如图11所示，随着温度T₁变低，发热量Q₁下降，比箭头靠右侧是发热量Q₁超过吸热量Q_{DR}的区域。即，如图11所示，随着温度T₁变低，发热量Q₁下降，但是能够在小的电流量I_{1N1}处实现发热量Q₁超过吸热量Q_{DR}的区域，因此控制部20能够通过降低温度T₁，来搜索在小的电流量I_{1N1}处发热量Q₁超过吸热量Q_{DR}的运转条件。

[0119] 在步骤S76中，控制部20将在步骤S69中存储的O₂/C、电流I₁、温度T₁设定为运转条件。

[0120] 如以上所说明的那样，根据第二实施方式所涉及的燃料电池系统1，能够得到以下的作用效果。

[0121] 在发电效率 η_{FC} 相对于前级燃料电池10的电流I₁的斜率d η_{FC} /dI₁为正的情况下，燃料电池系统1使前级燃料电池10的电流I₁进一步变大，由此搜索发电效率 η_{FC} 高的运转点。由此，燃料电池系统1能够设定高效率的运转点，能够以高效率进行运转。

[0122] 另外，燃料电池系统1在探讨运转条件时，将向重整器12供给的空气流量设为零，将前级燃料电池10的运转上能够采取的动作温度从最大温度起进行探讨，因此判断为斜率d η_{FC} /dI₁变为零的点是发电效率 η_{FC} 最高的点，设定运转条件。由此，燃料电池系统1能够设定高效率的运转点，能够以高效率进行运转。

[0123] 另外，在斜率d η_{FC} /dI₁为负的情况下，即使使电流I₁进一步增加系统效率 η_S 也降低，因此燃料电池系统1预测该时间点的运转条件下的系统效率 η_S 。在预测出的系统效率 η_S 在试验范围内最大的情况下，燃料电池系统1设定该运转条件。由此，燃料电池系统1能够设定高效率的运转点，能够以高效率进行运转。

[0124] 另外,在斜率 $d\eta_{FC}/dI_1$ 为负、且发电效率 η_{FC} 大于发电效率 η_{FC2} 的情况下,燃料电池系统1使向重整器12供给的空气流量增加来使吸热量 Q_{DR} 下降。通过像这样搜索吸热量 Q_{DR} 低于发热量 Q_1 的运转点,不需要对发电用空气进行加热使得吸热量 Q_{DR} 低于发热量 Q_1 ,燃料电池系统1能够以高效率进行运转。

[0125] 另外,燃料电池系统1在斜率 $d\eta_{FC}/dI_1$ 为负、且发电效率 η_{FC} 小于发电效率 η_{FC2} 的情况下,降低前级燃料电池10的温度 T_1 。这是由于,与向重整器12供给空气来使吸热量 Q_{DR} 下降、使重整效率 η_{ref} 下降相比,直接仅利用后级燃料电池11进行发电会使系统效率 η_S 更高。燃料电池系统1通过降低温度 T_1 来搜索吸热量 Q_{DR} 低于发热量 Q_1 的运转点。这样,燃料电池系统1不设定为了维持温度 T_1 而使系统效率 η_S 下降的运转条件,而是通过降低温度 T_1 来搜索吸热量 Q_{DR} 低于发热量 Q_1 的运转点。由此,燃料电池系统1能够设定效率比发电效率 η_{FC2} 佳的运转点,能够以高效率进行运转。

[0126] 如上所述那样记载了本发明的实施方式,但是不应理解为形成该公开的一部分的论述和附图对本发明产生限定。根据该公开,对本领域技术人员而言各种替代实施方式、实施例以及应用技术是显而易见的。

[0127] 附图标记说明

[0128] 10:前级燃料电池;11:后级燃料电池;12:重整器;S2:传感器;20:控制部。

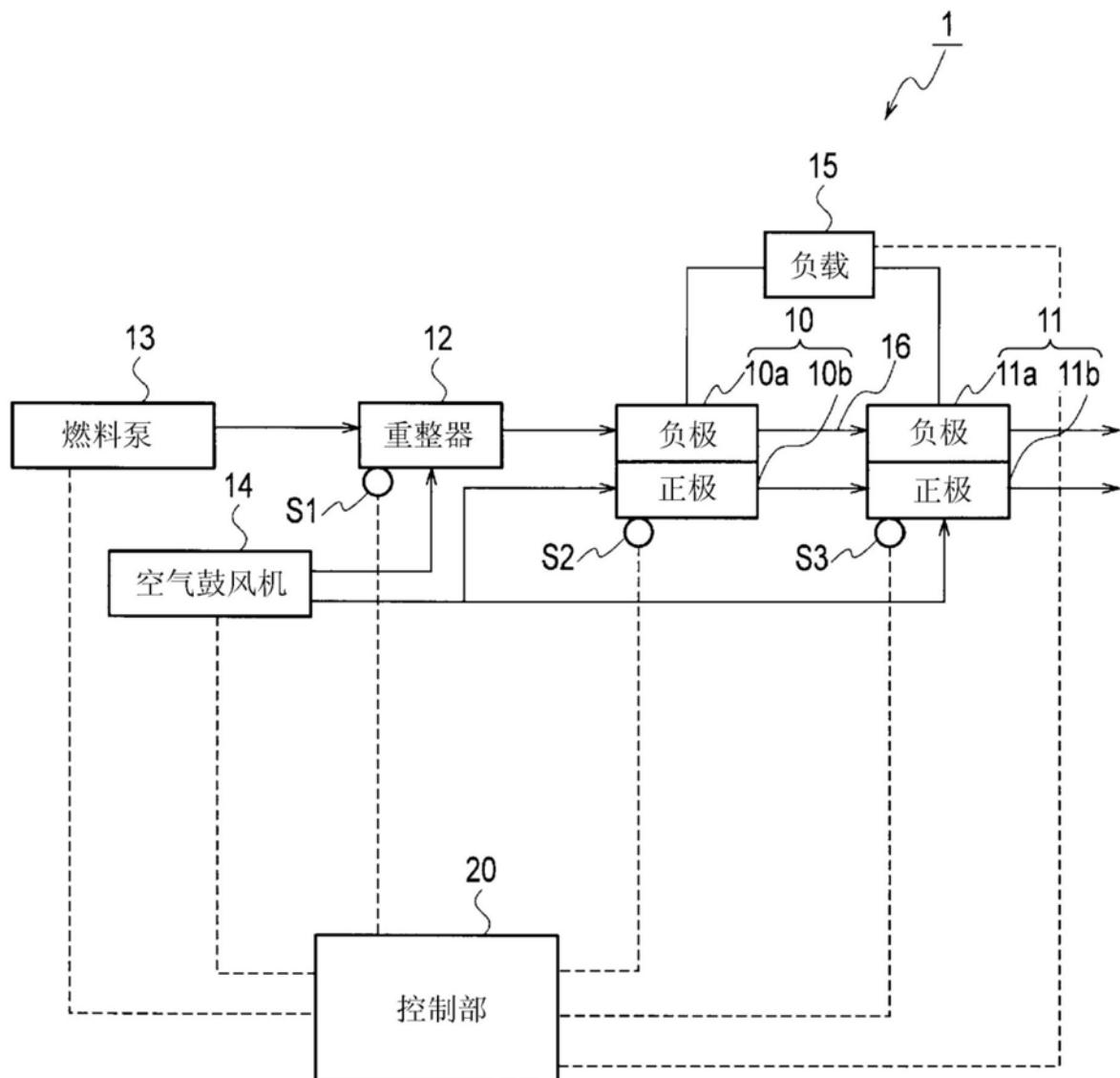


图1

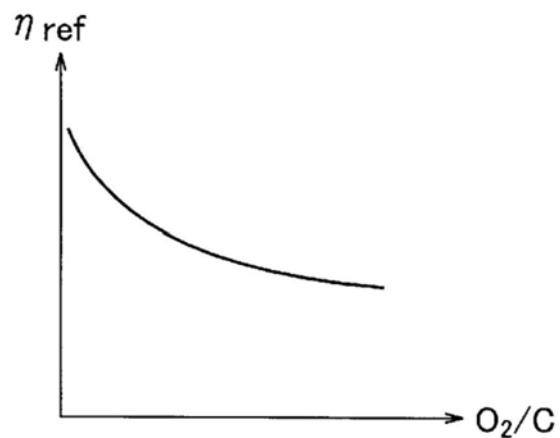


图2

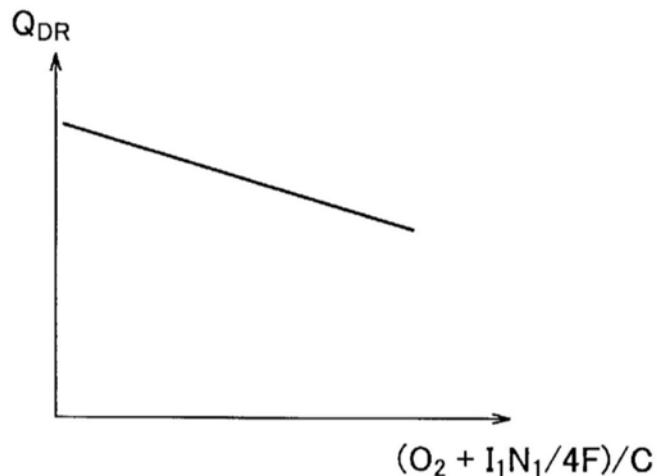


图3

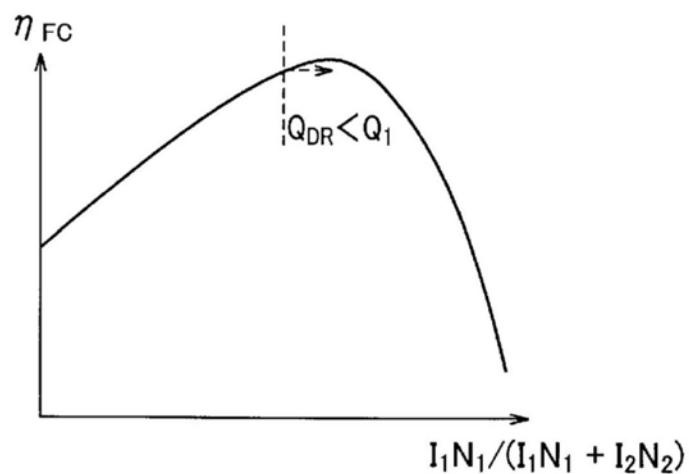


图4

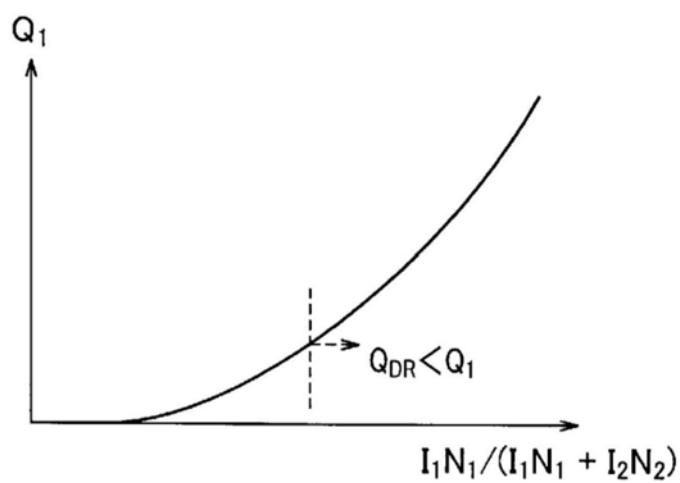


图5

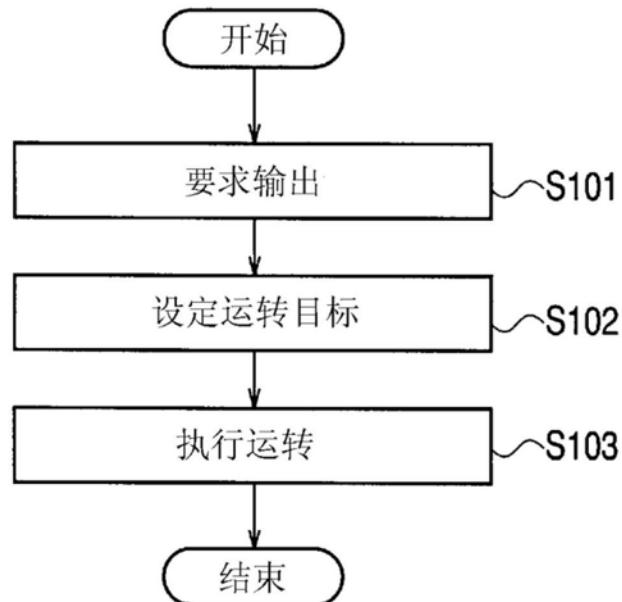


图6

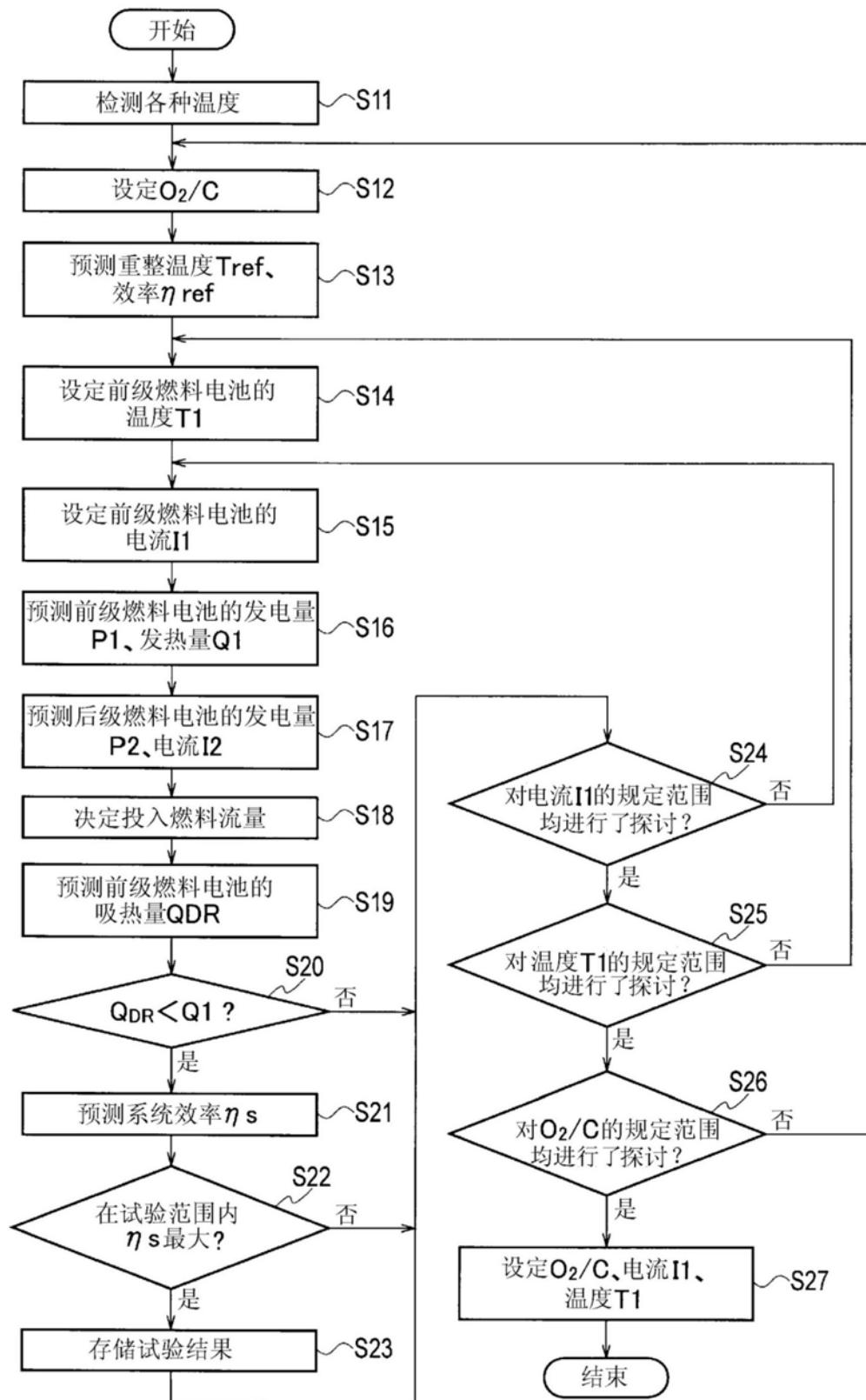


图7

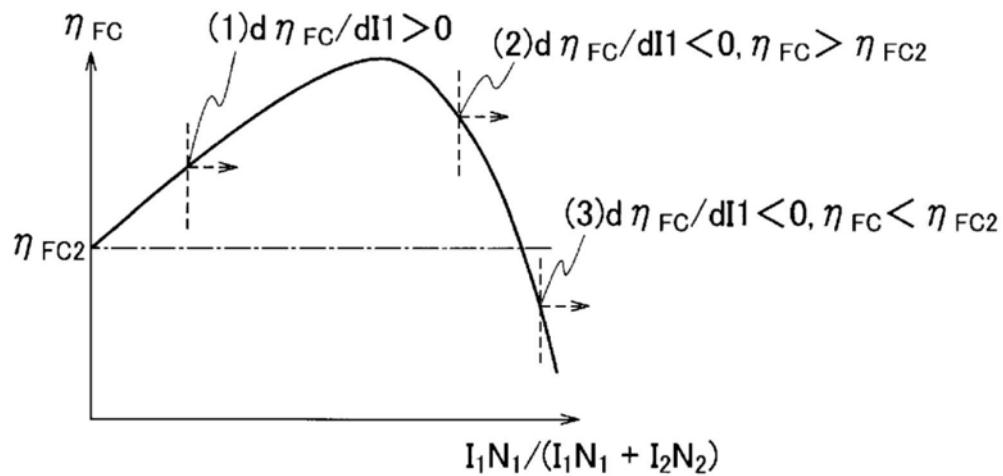


图8

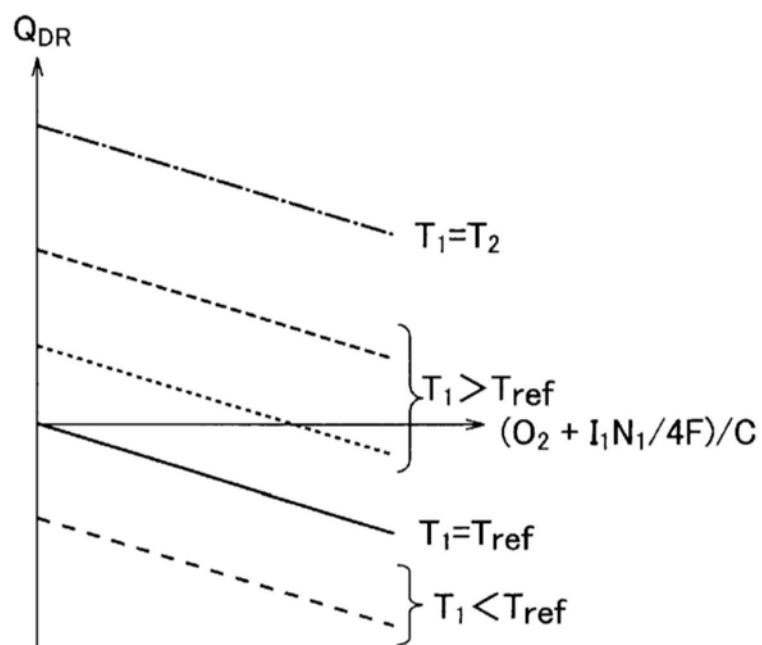


图9

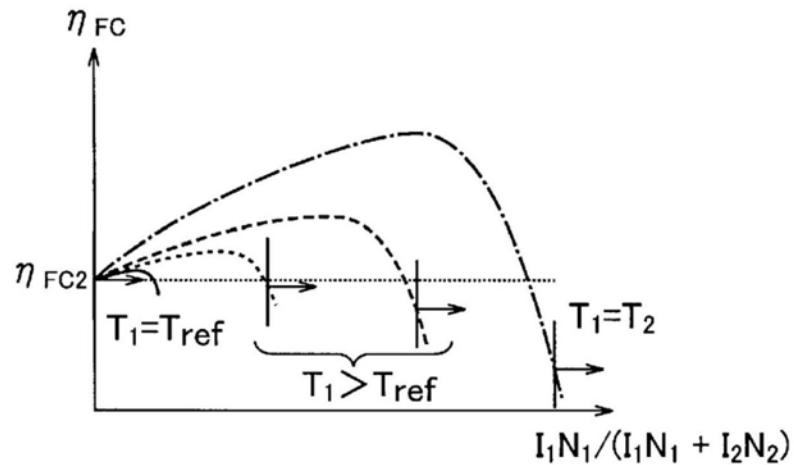


图10

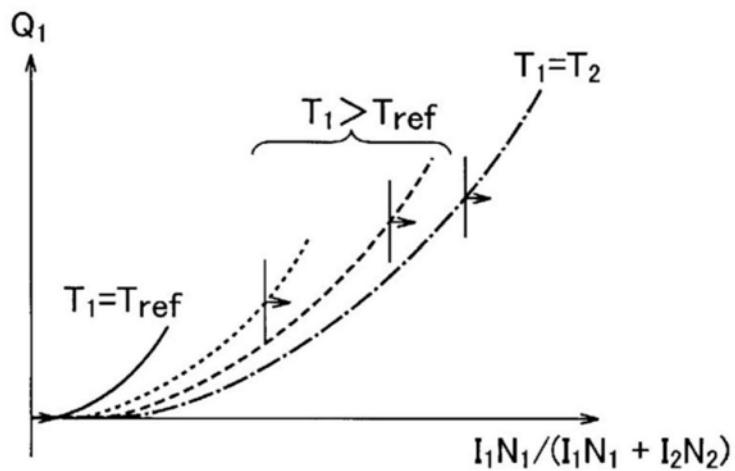


图11

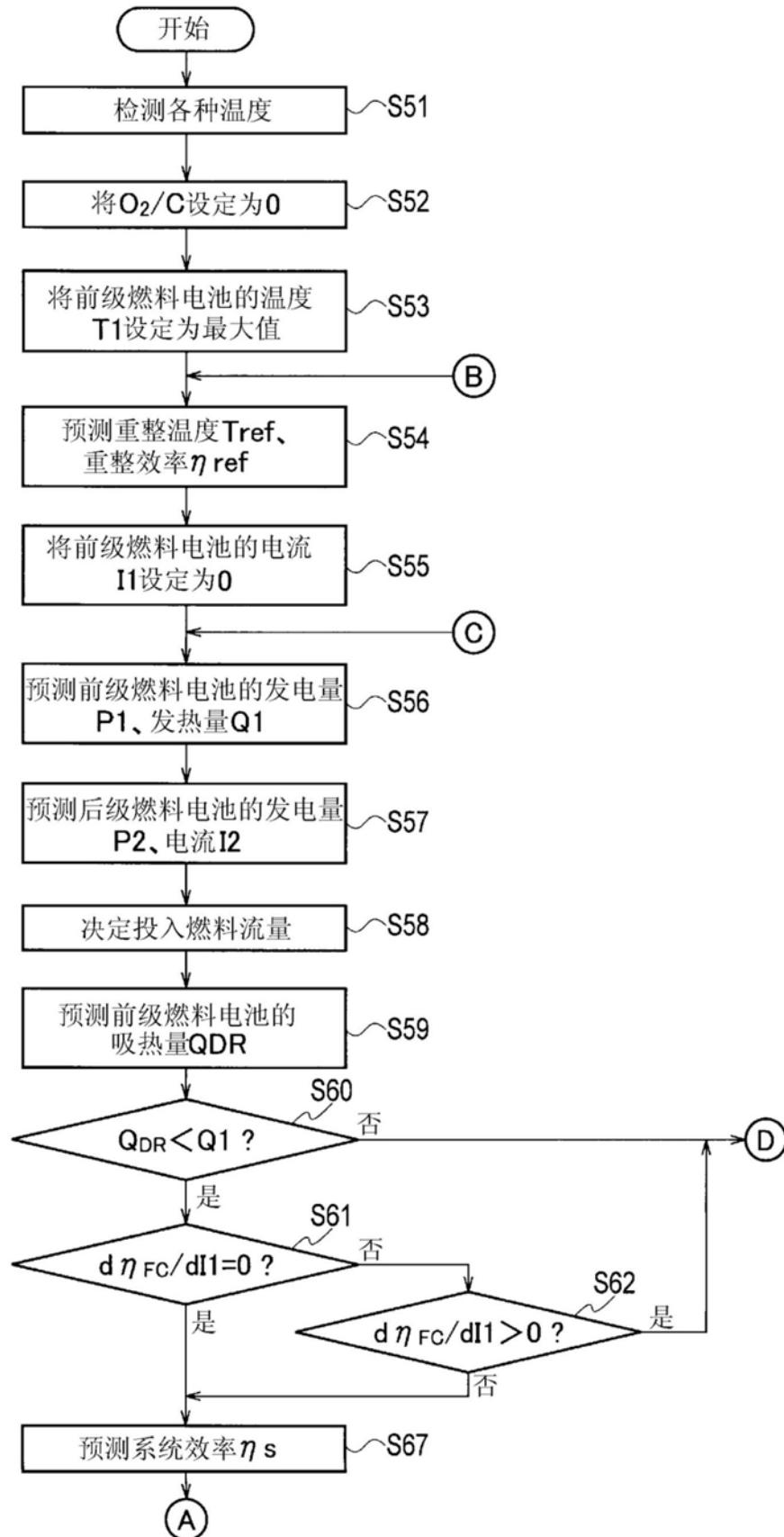


图12

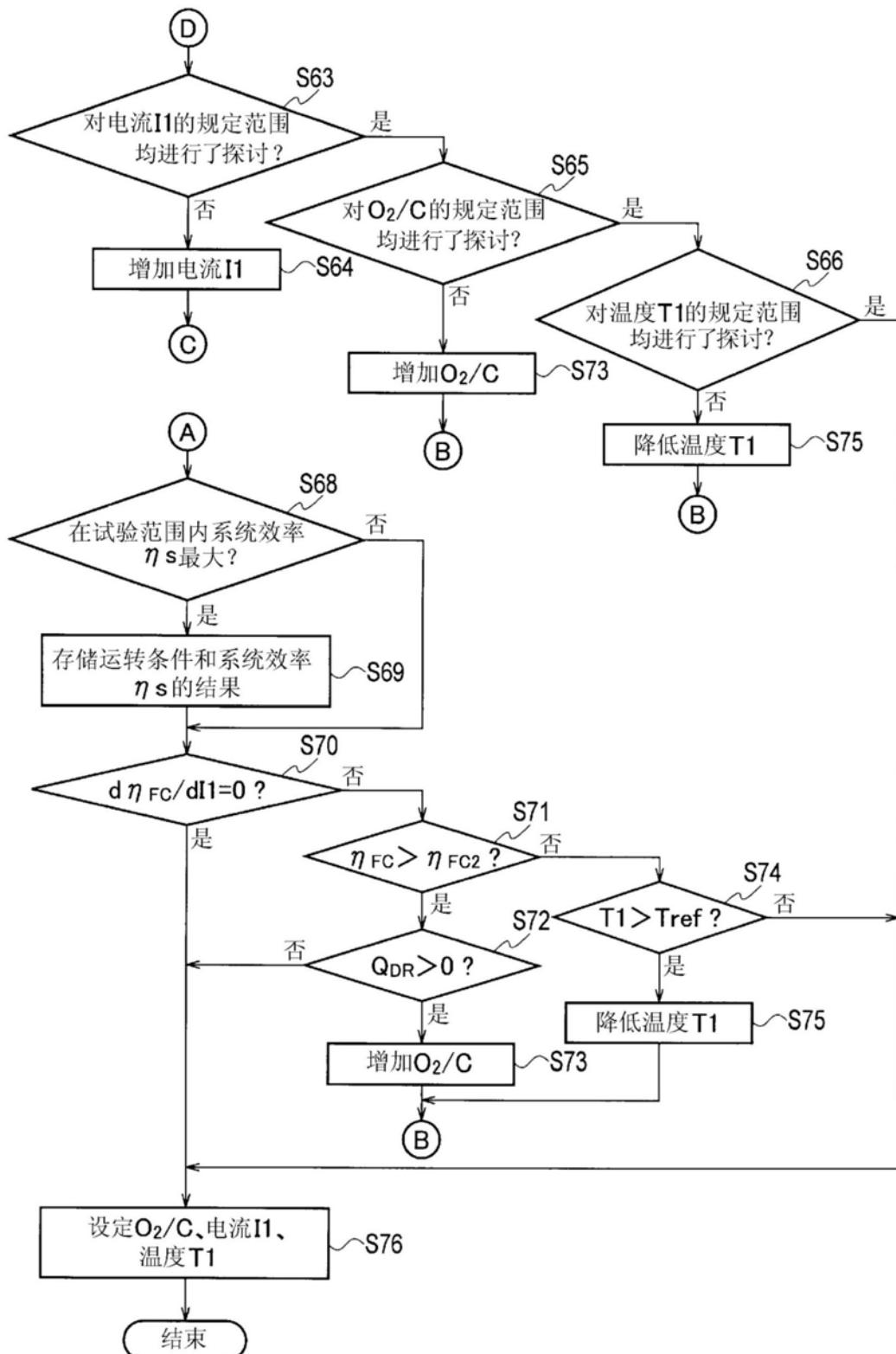


图13