(19)国家知识产权局

(12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 119173875 A
(43)申请公布日 2024.12.20

(21)申请号 202380042265.5
(22)申请日 2023.05.15
(30)优先权数据
2022-093250 2022.06.08 JP
(85)PCT国际申请进入国家阶段日
2024.11.22
(86)PCT国际申请的申请数据
PCT/JP2023/018114 2023.05.15
(87)PCT国际申请的公布数据
WO2023/238606 JA 2023.12.14
(71)申请人 松下知识产权经营株式会社
地址 日本
(72)发明人 潮田干生 原伸夫
(74)专利代理机构 中科专利商标代理有限责任公司 11021
专利代理师 齐秀凤
(51)Int.Cl.
G06F 30/20(2006.01)
G05B 13/02(2006.01)
G06N 7/01(2006.01)
G06N 20/00(2006.01)
G06Q 50/04(2006.01)

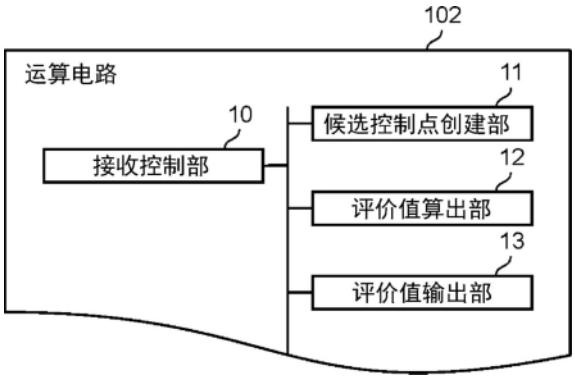
权利要求书2页 说明书37页 附图45页

(54)发明名称

评价装置、评价方法以及程序

(57)摘要

评价装置(100)是基于与第1时刻下的控制完毕的控制点对应的已知的特性点,通过贝叶斯最优化来评价与第1时刻之后的第2时刻下的多个候选控制点对应的未知的特性点的装置,该评价装置(100)具备:接收控制部(10),获取表示第1时刻下的控制完毕的控制点以及第1时刻下的已知的特性点的控制结果数据(222)、表示最优化目的的目的数据(212)、表示制约条件的制约条件数据(213)、和区域缩小规则数据(214);评价值算出部(12),基于控制结果数据(222)、目的数据(212)、制约条件数据(213)以及区域缩小规则数据(214),算出多个未知的特性点各自的评价值;和评价值输出部(13),输出评价值。



CN 119173875 A

1.一种评价装置,基于与第1时刻下的控制完毕的控制点对应的已知的特性点,通过贝叶斯最优化来评价与所述第1时刻之后的第2时刻下的多个候选控制点对应的多个未知的特性点,

所述评价装置具备:

第1接收单元,获取控制结果数据,所述控制结果数据表示所述第1时刻下的控制完毕的控制点以及所述第1时刻下的已知的特性点;

第2接收单元,获取目的数据,所述未知的特性点表示1个或者多个产品特性的值,至少1个产品特性具有最优化目的,所述目的数据表示该最优化目的;

第3接收单元,获取制约条件数据,所述制约条件数据表示针对所述至少1个产品特性赋予的制约条件;

第4接收单元,获取区域缩小规则数据,所述区域缩小规则数据表示通过至少1个产品特性表现的特性空间的分割方法,并且按通过所述分割方法进行了分割的特性空间的每个区域来表示将活动区域缩小的维度;

算出单元,基于所述控制结果数据、所述目的数据、所述制约条件数据以及所述区域缩小规则数据,算出所述多个未知的特性点各自的评价值;和

输出单元,输出所述评价值,

所述算出单元将与所述制约条件的符合程度相应的权重,赋予给针对所述至少1个产品特性的评价值。

2.根据权利要求1所述的评价装置,其中,

所述制约条件为至少1个制约范围,

在所述最优化目的中,存在将产品特性收敛于所述至少1个制约范围之中的任一制约范围内的第1目的、和将产品特性最小化或者最大化的第2目的,

所述算出单元针对所述至少1个产品特性的每一个产品特性在以下情况下进行相互不同的加权处理来算出所述评价值:

(i)用于算出所述评价值的该产品特性的区间位于所述至少1个制约范围的每一个制约范围之外的情况;

(ii)所述区间为所述至少1个制约范围之中的任一制约范围内且所述最优化目的为所述第1目的的情况;和

(iii)所述区间为所述至少1个制约范围之中的任一制约范围内且所述最优化目的为所述第2目的的情况。

3.根据权利要求2所述的评价装置,其中,

所述评价装置还具备:

候选控制点创建单元,通过将多个工艺条件各自的满足给定的条件的值组合来创建所述多个候选控制点。

4.根据权利要求2所述的评价装置,其中,

所述算出单元基于所述至少1个制约范围之中与矩形不同的形状的制约范围来算出所述评价值。

5.根据权利要求1~4的任一项所述的评价装置,其中,

所述算出单元使用卡尔曼滤波器来算出所述多个候选控制点下的预测分布,使用所算

出的所述预测分布来算出所述评价值。

6.根据权利要求1～4的任一项所述的评价装置,其中,

所述算出单元使用蒙特卡罗法来算出所述评价值。

7.一种评价方法,由评价装置基于与第1时刻下的控制完毕的控制点对应的已知的特性点,通过贝叶斯最优化来评价与所述第1时刻之后的第2时刻下的多个候选控制点对应的多个未知的特性点,

所述评价方法包括:

第1接收步骤,获取控制结果数据,所述控制结果数据表示所述第1时刻下的控制完毕的控制点以及所述第1时刻下的已知的特性点;

第2接收步骤,获取目的数据,所述未知的特性点表示1个或者多个产品特性的值,至少1个产品特性具有最优化目的,所述目的数据表示该最优化目的;

第3接收步骤,获取制约条件数据,所述制约条件数据表示针对所述至少1个产品特性赋予的制约条件;

第4接收步骤,获取区域缩小规则数据,所述区域缩小规则数据表示通过至少1个产品特性表现的特性空间的分割方法,并且按通过所述分割方法进行了分割的特性空间的每个区域来表示将活动区域缩小的维度;

算出步骤,基于所述控制结果数据、所述目的数据、所述制约条件数据以及所述区域缩小规则数据,算出所述多个未知的特性点各自的评价值;和

输出步骤,输出所述评价值,

在所述算出步骤中,将与所述制约条件的符合程度相应的权重,赋予给针对所述至少1个产品特性的评价值。

8.一种程序,用于使计算机基于与第1时刻下的控制完毕的控制点对应的已知的特性点,通过贝叶斯最优化来评价与所述第1时刻之后的第2时刻下的多个候选控制点对应的多个未知的特性点,

所述程序使所述计算机执行以下步骤:

第1接收步骤,获取控制结果数据,所述控制结果数据表示所述第1时刻下的控制完毕的控制点以及所述第1时刻下的已知的特性点;

第2接收步骤,获取目的数据,所述未知的特性点表示1个或者多个产品特性的值,至少1个产品特性具有最优化目的,所述目的数据表示该最优化目的;

第3接收步骤,获取制约条件数据,所述制约条件数据表示针对所述至少1个产品特性赋予的制约条件;

第4接收步骤,获取区域缩小规则数据,所述区域缩小规则数据表示通过至少1个产品特性表现的特性空间的分割方法,并且按通过所述分割方法进行了分割的特性空间的每个区域来表示将活动区域缩小的维度;

算出步骤,基于所述控制结果数据、所述目的数据、所述制约条件数据以及所述区域缩小规则数据,算出所述多个未知的特性点各自的评价值;和

输出步骤,输出所述评价值,

在所述算出步骤中,将与所述制约条件的符合程度相应的权重,赋予给针对所述至少1个产品特性的评价值。

评价装置、评价方法以及程序

技术领域

[0001] 本公开涉及用于在一般的工业产品的量产生产中将产品特性值高效地控制在标准内的技术。

背景技术

[0002] 在工业产品的量产现场,需要在最佳的条件下控制所设定的工艺条件,使得满足对工业产品的合格与否进行判断的标准等要求的产品特性的要件。例如,在电池的极板的量产现场(生产工序)中,作为工艺条件设定浆料的温度、粘度及流量、泵转速、室温等,作为产品特性设定涂敷重量等。

[0003] 在工艺条件与产品特性之间的关系性能够用物理公式表示的情况下,工艺条件的最优解大多能够用数学的最优化手法进行搜索。但是,在该关系性未知的情况下,选择一组工艺条件的值的组合(即控制点),进行实际的控制(即生产)。并且,作为控制结果,获得与该控制点对应的产品特性的值的组合(即特性点)。通过反复进行这样的控制,能够搜索工艺条件的最优解。

[0004] 一般地,在复杂的生产制造或者受到各种干扰的影响的量产现场中,在对变化的应对延迟、对变化的处理的精度低的情况下,会大量生产不合格品,产生花费极大的金钱或者时间的成本之类的生产损失。因此,为了完成生产损失少的量产业务,迅速且高精度地搜索最优解(即最佳的工艺条件)是很重要的。

[0005] 然而,以往,在量产现场的时间序列数据的控制中,基于现场作业人员的直觉或者经验的方法、使用古典控制或者现代控制理论的方法被用于该最优解的搜索中。但是,直觉或者经验的方法依赖于现场作业人员的力量。另外,使用古典控制或者现代控制理论的方法在作为最优解的搜索阶段的参数调整等阶段中,需要进行解析人员的试错。此外,在该方法的情况下,取决于参数调整,会产生特性值超出目标值的过冲现象或者特性值在目标值附近振动的振荡现象。例如,在专利文献1中公开了一种使用作为现代控制手法之一的PID控制来系统地执行增益值的调整的方法。

[0006] 另外,近年来,在机器学习的领域中,使用贝叶斯最优化的数据驱动型方法备受瞩目(例如参照非专利文献1以及非专利文献2)。贝叶斯最优化是作为表现输入输出之间的对应关系的数理模型而假定高斯过程的最优化手法。在每当进行控制时得到一组输入输出的关系的系统中使用贝叶斯最优化的情况下,每次得到控制结果时,基于能够根据已知的控制结果来算出的对应关系的联合分布,算出利用已知的控制结果进行了周边化的预测分布。进而,使用被称为获得函数的评价基准,选择最佳的接下来的控制条件。由此,能够进行不依赖于解析人员的力量的定量的评价,也能够有助于最优解搜索作业的自动化。

[0007] 在先技术文献

[0008] 专利文献

[0009] 专利文献1:日本特开2021-111017号公报

[0010] 非专利文献

[0011] 非专利文献1:M.Emmerich,A.Deutz,J.W.Klinkenberg,“The computation of the expected improvement in dominated hypervolume of Pareto front approximations,”Repport Technique,Leiden University,Vol.34,2008.

[0012] 非专利文献2:M.Abdolshah,A.Shilton,S.Rana,S.Gupta,S.Venkatesh,“Expected Hypervolume Improvement with Constraints,”International Conference on Pattern Recognition(ICPR),2018.

发明内容

[0013] 本公开的一方式所涉及的评价装置基于与第1时刻下的控制完毕的控制点对应的已知的特性点,通过贝叶斯最优化来评价与所述第1时刻之后的第2时刻下的多个候选控制点对应的多个未知的特性点,所述评价装置具备:第1接收单元,获取控制结果数据,所述控制结果数据表示所述第1时刻下的控制完毕的控制点以及所述第1时刻下的已知的特性点;第2接收单元,获取目的数据,所述未知的特性点表示1个或者多个产品特性的值,至少1个产品特性具有最优化目的,所述目的数据表示该最优化目的;第3接收单元,获取制约条件数据,所述制约条件数据表示针对所述至少1个产品特性赋予的制约条件;第4接收单元,获取区域缩小规则数据,所述区域缩小规则数据表示通过至少1个产品特性表现的特性空间的分割方法,并且按通过所述分割方法进行了分割的特性空间的每个区域来表示将活动区域缩小的维度;算出单元,基于所述控制结果数据、所述目的数据、所述制约条件数据以及所述区域缩小规则数据,算出所述多个未知的特性点各自的评价值;和输出单元,输出所述评价值,所述算出单元将与所述制约条件的符合程度相应的权重,赋予给针对所述至少1个产品特性的评价值。

附图说明

[0014] 图1是用于说明实施方式所涉及的评价装置的概略的动作的图。

[0015] 图2是示出用图表来表示实施方式所涉及的各候选控制点以及各特性点各自的一个例子的图。

[0016] 图3A是示出实施方式所涉及的部分矩阵的图。

[0017] 图3B是示出实施方式所涉及的部分矩阵的图。

[0018] 图4是示出实施方式所涉及的评价装置的结构的图。

[0019] 图5是示出实施方式所涉及的运算电路的功能结构的框图。

[0020] 图6是示出为了受理实施方式所涉及的设定信息的输入而显示在显示部中的受理图像的一个例子的图。

[0021] 图7是示出用于受理实施方式所涉及的区域缩小规则数据的输入而显示在显示部中的受理图像的一个例子的图。

[0022] 图8是示出实施方式所涉及的区域缩小规则数据的一个例子的图。

[0023] 图9A是示出实施方式所涉及的标准范围的一个例子的图。

[0024] 图9B是示出实施方式所涉及的标准范围的另一例的图。

[0025] 图10是示出实施方式所涉及的评价装置的处理动作的流程图。

[0026] 图11A是示出实施方式所涉及的候选控制点数据的一个例子的图。

[0027] 图11B是示出实施方式所涉及的候选控制点数据的另一例的图。

[0028] 图12是示出实施方式所涉及的控制结果数据的一个例子的图。

[0029] 图13是用于说明由实施方式所涉及的评价值算出部进行的处理的图。

[0030] 图14是示出实施方式所涉及的预测分布数据的一个例子的图。

[0031] 图15A是示出实施方式所涉及的改善区域的一个例子的图。

[0032] 图15B是示出实施方式所涉及的改善区域的另一例的图。

[0033] 图16A是用于说明实施方式所涉及的改善区域的体积的算出方法的图。

[0034] 图16B是用于说明实施方式所涉及的将特性空间的整体分割为多个小区域的例子的图。

[0035] 图16C是示出实施方式所涉及的小区域的下端点以及上端点的一个例子的图。

[0036] 图17是示出在应用实施方式所涉及的区域缩小规则的情况下被区域分割的特性空间的一个例子的图。

[0037] 图18A是示出在应用实施方式所涉及的区域缩小规则的情况下被区域分割的特性空间的另一例的图。

[0038] 图18B是示出在应用实施方式所涉及的区域缩小规则的情况下被区域分割的特性空间的另一例的图。

[0039] 图18C是示出在应用实施方式所涉及的区域缩小规则的情况下被区域分割的特性空间的另一例的图。

[0040] 图19是用于说明应用实施方式所涉及的区域缩小规则的帕累托边界的算出方法的图。

[0041] 图20是用于说明应用实施方式所涉及的区域缩小规则的帕累托边界的算出方法的图。

[0042] 图21是用于说明应用实施方式所涉及的区域缩小规则的帕累托边界的算出方法的图。

[0043] 图22是用于说明应用实施方式所涉及的区域缩小规则的帕累托边界的算出方法的图。

[0044] 图23是示出没有实施方式所涉及的制约条件的情况下的帕累托边界的一个例子的图。

[0045] 图24是示出图23所示的帕累托边界的基础上的改善区域的一个例子的图。

[0046] 图25是示出有实施方式所涉及的制约条件的情况下的帕累托边界的一个例子的图。

[0047] 图26是示出在图25所示的帕累托边界的基础上有制约条件的情况下确定的改善区域的一个例子的图。

[0048] 图27是示出实施方式所涉及的标准范围以及管理范围的一个例子的图。

[0049] 图28是示出实施方式所涉及的评价值数据的一个例子的图。

[0050] 图29是示出实施方式所涉及的显示部中显示的变更后的评价值数据的一个例子的图。

[0051] 图30是将实施方式所涉及的基于卡尔曼滤波器的预测分布的导出概念地示出的图。

[0052] 图31是将实施方式所涉及的多个候选控制点的预测分布与产品特性的标准范围的关系概念地示出的图。

[0053] 图32A是用于说明将实施方式所涉及的最优化目标值设定在标准中央的控制方法1的控制情形的图。

[0054] 图32B是用于说明将实施方式所涉及的最优化目标值设定在标准中央的控制方法1的控制情形的图。

[0055] 图33是将过冲现象以及振荡现象概念地示出的图。

[0056] 图34是将作为卡尔曼滤波器的特性的噪声消除效果概念地示出的图。

[0057] 图35A是用于说明将实施方式所涉及的最优化目标值设定在标准上下限的控制方法2的控制情形的图。

[0058] 图35B是用于说明将实施方式所涉及的最优化目标值设定在标准上下限的控制方法2的控制情形的图。

[0059] 图36A是用于说明使实施方式所涉及的最优化目标值逐渐向标准中央移动的控制方法3的控制情形的图。

[0060] 图36B是用于说明使实施方式所涉及的最优化目标值逐渐向标准中央移动的控制方法3的控制情形的图。

[0061] 图37是用于说明在实施方式所涉及的产品特性数为2维以上的情况下存在多个最优化目标值的候选的图。

[0062] 图38A是示出实施方式所涉及的中心与标准中央不一致的情况下的结合活动区域的图。

[0063] 图38B是示出实施方式所涉及的中心与标准中央一致的情况下的结合活动区域的图。

[0064] 图39是示出在进行实施方式的实施例所涉及的最优解的搜索时得到的控制结果数据表的一个例子的图。

[0065] 图40A是示出得到图39的第26个为止的控制结果的时间点下的结合活动区域的图。

[0066] 图40B是示出得到图39的第27个控制结果的时间点下的结合活动区域的图。

具体实施方式

[0067] (成为本发明的基础的认识)

[0068] 本发明人发现,关于在“背景技术”一栏中记载的上述非专利文献1以及非专利文献2,产生以下的课题。

[0069] 提出了几种与同时最优化多个产品特性的多目的贝叶斯最优化有关的手法。例如,在上述非专利文献1中,公开了作为其中一种的EHVI(Expected Hypervolume Improvement:期望超体积改进)的最优解搜索原理以及具体的算出方法。由此,即使存在多个想要最优化的产品特性,也能够进行最优解搜索的定量评价。

[0070] 另外,在工业产品开发或者制造工艺开发中,作为与产品特性的值有关的制约条件,有时设定有标准范围。例如,“希望电池容量收敛于1850～1950[mAh]的标准范围内”、“寿命以3年为最小值,越长越好(即,寿命的标准范围的最小值为3年,最大值为+∞)”等标

准范围。在有标准范围的情况下,当应用以往的贝叶斯最优化时,担心进行计算效率差的搜索、或者搜索进行到不是最优解的其他区域。

[0071] 为此,也提出了几种与附带制约条件的贝叶斯最优化有关的手法。例如,在上述专利文献1的手法中,针对各候选控制点,根据通过高斯过程回归求出的预测分布,算出收敛于标准范围内的概率,仅提取该概率超过某阈值的候选控制点,对获得函数进行评价。由此,可应对附带制约条件的最优化问题。

[0072] 另外,例如,在上述非专利文献2中,公开了将EHVI扩张为有制约条件的情况下的EHVIC(Expected Hypervolume Improvement with Constraints)。上述非专利文献2中记载的获得函数的设计手法将进入标准范围内的概率和改善量综合地进行指标化,对全部的候选控制点进行评价。因此,搜索效率提高(即,求出真最优解)的可能性较高。

[0073] 然而,在上述非专利文献2的获得函数的设计手法中,在评价该获得函数的方面还存在以下问题:关于想要最大化或者最小化的产品特性的数量和作为暂定的最优解(非劣解)的帕累托点的数量,计算量呈指数函数级增大。

[0074] 另外,在专利文献1中,如上所述,公开了使用作为现代控制手法之一的PID控制来系统地执行增益值的调整的方法。但是,由于专利文献1中公开的方法是基于规则的增益调整方法,因此难以进行定量评价,未必能够在量产现场的时间序列数据的控制中得到能够抑制过冲现象或者振荡现象的良好的控制结果。因此,在量产现场的时间序列数据的控制中,参数的评价依赖于人。

[0075] 另一方面,作为用于推定按时间序列变化的状态的计算手法,卡尔曼滤波器广为人知。卡尔曼滤波器是通过被称为状态空间模型的数理模型来推定系统内部不可见的状态的计算手法。因此,卡尔曼滤波器能够以推定出的状态的信息为基础被应用于量产现场的时间序列数据的控制中。

[0076] 鉴于以上,在本公开中,考虑利用基于卡尔曼滤波器的状态推定和基于贝叶斯最优化的获得函数评价的构思。

[0077] 然而,仅简单将卡尔曼滤波器和贝叶斯最优化组合,不能抑制产生过冲现象或者振荡现象。

[0078] 为此,本公开的评价装置的目的在于,针对时间序列数据的控制问题,能够定量地评价能够抑制过冲现象或者振荡现象的产生的候选控制点。

[0079] 本公开的一方式所涉及的评价装置基于与第1时刻下的控制完毕的控制点对应的已知的特性点,通过贝叶斯最优化来评价与所述第1时刻之后的第2时刻下的多个候选控制点对应的多个未知的特性点,所述评价装置具备:第1接收单元,获取控制结果数据,所述控制结果数据表示所述第1时刻下的控制完毕的控制点以及所述第1时刻下的已知的特性点;第2接收单元,获取目的数据,所述未知的特性点表示1个或者多个产品特性的值,至少1个产品特性具有最优化目的,所述目的数据表示该最优化目的;第3接收单元,获取制约条件数据,所述制约条件数据表示针对所述至少1个产品特性赋予的制约条件;第4接收单元,获取区域缩小规则数据,所述区域缩小规则数据表示通过至少1个产品特性表现的特性空间的分割方法,并且按通过所述分割方法进行了分割的特性空间的每个区域来表示将活动区域缩小的维度;算出单元,基于所述控制结果数据、所述目的数据、所述制约条件数据以及所述区域缩小规则数据,算出所述多个未知的特性点各自的评价值;和输出单元,输出所述

评价值,所述算出单元将与所述制约条件的符合程度相应的权重,赋予给针对所述至少1个产品特性的评价值。

[0080] 由此,算出单元基于控制结果数据、目的数据、制约条件数据以及区域缩小规则数据,算出第1时刻之后的第2时刻下的多个未知的特性点的评价值。在算出多个未知的特性点的评价值时,将与制约条件的符合程度相应的权重赋予给针对至少1个产品特性的评价值,该至少1个产品特性具有最优化目的。因此,针对对于具有最优化问题的目的的时间序列的产品特性赋予了制约条件的最优化问题,能够应用卡尔曼滤波器和贝叶斯最优化。这样,由于能够根据与作为过去的控制结果信息的第1时刻下的控制完毕的控制点对应的已知的特性点,算出多个未知的特性点的评价值,因此能够定量地解析接下来应设定的候选控制点。

[0081] 如以上那样,根据本发明的解析系统,能够定量地算出接下来应设定的最佳的候选控制点,可期待不依赖于解析人员的力量的高精度的控制的实现。

[0082] 另外,所述制约条件也可以是至少1个制约范围。在所述最优化目的中,也可以存在将产品特性收敛于所述至少1个制约范围之中的任一制约范围内的第1目的、和将产品特性最小化或者最大化的第2目的。所述算出单元也可以针对至少1个产品特性的每一个产品特性在以下的(i)~(iii)的情况下进行相互不同的加权处理来算出所述评价值。

[0083] (i)用于算出评价值的该产品特性的区间位于所述至少1个制约范围的每一个制约范围之外的情况。

[0084] (ii)所述区间为所述至少1个制约范围之中的任一制约范围内且所述最优化目的为所述第1目的的情况。

[0085] (iii)所述区间为所述至少1个制约范围之中的任一制约范围内且所述最优化目的为所述第2目的的情况。

[0086] 例如,多个制约范围是标准范围和该标准范围中包括的管理范围。并且,(ii)的情况被分为:区间为标准范围内以及管理范围外且最优化目的为第1目的的第1情况、和区间为管理范围内且最优化目的为第1目的的第2情况。另外,例如,进行使用了第2情况比第1情况大的权重的加权处理。这样,通过具有多个制约范围,并且将(ii)的情况进一步分为多个情况,能够分别对多个制约范围分阶段地进行加权。因此,即使在想要产品特性的值收敛于标准范围内且尽可能地收敛于管理范围内这样的情况下,也能够恰当地算出评价值。其结果,能够进一步扩展针对最优化问题的应用场景。

[0087] 另外,所述评价装置还可以具备:候选控制点创建单元,通过将多个工艺条件各自的满足给定的条件的值组合来创建所述多个候选控制点。

[0088] 例如,给定的条件是多个工艺条件各自的比率变量的值的和为1这样的条件。在一个更具体的例子中,该比率变量是与工艺条件对应的化合物等材料的混配比。因此,能够按多种化合物的混配比的每个组合,算出针对该组合的评价值。其结果,能够恰当地搜索通过这些化合物的混配而得到的合成材料的至少1个产品特性所对应的最优解。

[0089] 另外,所述算出单元也可以基于所述至少1个制约范围之中与矩形不同的形状的制约范围来算出所述评价值。

[0090] 由此,例如,在由2个产品特性表现的特性空间中,基于圆形、椭圆形、星形等的制约范围来算出评价值,因此制约范围的形状并不限定于矩形的情况,能够进一步扩展应用

场景。

[0091] 另外,所述算出单元也可以使用卡尔曼滤波器来算出所述多个候选控制点下的预测分布,使用所算出的所述预测分布来算出所述评价值。

[0092] 由此,能够依次算出由卡尔曼滤波器求出的预测分布、和根据预测分布使用贝叶斯最优化求出的评价值。因此,能够基于评价值选择接下来设定为控制点的候选控制点。也就是说,由于针对各候选控制点算出的评价值被输出,因此评价装置的用户能够基于这些评价值将候选控制点选择为接下来的控制点,将通过使用该控制点的控制而得到的特性点用于接下来的各候选控制点的评价值的算出。通过反复进行这样的控制和评价值的算出以及输出,能够得到满足各产品特性的最优化目的的候选控制点的解,即最优解。

[0093] 另外,所述算出单元也可以使用蒙特卡罗法算出所述评价值。

[0094] 由此,由于蒙特卡罗法是近似手法,因此即使在难以解析地算出评价值的情况下,也能够近似地算出。

[0095] 以下,参照附图来对实施方式具体地进行说明。

[0096] 此外,以下所说明的实施方式均表示总括性或者具体的例子。以下的实施方式所示的数值、形状、材料、结构要素、结构要素的配置位置以及连接方式、步骤、步骤的顺序等是一个例子,并不旨在限定本公开。另外,对于以下的实施方式中的结构要素之中未记载于独立技术方案的结构要素,作为任意的结构要素来说明。另外,各图是示意图,未必严格图示。另外,在各图中,对相同的结构构件赋予相同的符号。

[0097] (实施方式1)

[0098] [概要]

[0099] 图1是用于说明本实施方式所涉及的评价装置的概略的动作的图。

[0100] 本实施方式中的评价装置100算出针对多个候选控制点各自的评价值,显示表示这些评价值的评价值数据224。候选控制点是作为控制点的候选的点。控制点是表示控制条件(控制空间上的各工艺条件的值的组合)的控制空间上的点。评价值是表示预测为通过按照该候选控制点的控制而得到的产品特性的评价结果的值。例如,评价值表示预测为通过控制而得到的产品特性符合最优化目的的程度,评价值越大,其程度越大。

[0101] 用户参照由该评价值数据224示出的各候选控制点的评价值,将这些候选控制点之中的1个选择为接下来的控制点。用户使用控制设备(量产设备)进行按照该被选择的控制点的控制。通过控制,得到与该控制点对应的特性点。特性点例如表示产品特性的值,如果有多个产品特性,则作为多个产品特性的值的组合来示出。用户将该得到的特性点与控制点建立对应,输入到评价装置100。其结果,评价装置100使用通过该控制得到的特性点,再次算出针对各候选控制点的评价值,重新显示表示这些评价值的评价值数据224。也就是说,评价值数据224被更新。评价装置100通过反复进行这样的评价值数据224的更新,搜索产品特性的最优解。

[0102] 图2是示出用图表来表示各候选控制点以及各特性点各自的一个例子的图。具体地,图2的(a)的图表示出被配置在控制空间的各候选控制点,图2的(b)的图表示出被配置在特性空间的各特性点。

[0103] 如图2的(a)所示,控制空间内的候选控制点被配置在与第1工艺条件以及第2工艺条件的值的组合对应的网格点上。如图2的(b)所示,与图2的(a)所示的各候选控制点对应

的特性点被配置在特性空间。具体地,将候选控制点选择为控制点,在通过按照该控制点的控制得到第1产品特性以及第2产品特性各自的值的情况下,与该控制点对应的特性点被配置在通过该第1产品特性的值和第2产品特性的值的组合而表现的位置。在此,在候选控制点和特性点之间存在一一对应的对应关系,但是该对应关系(即,图2中的函数f)是未知的。

[0104] 所谓执行一次控制,能够换言之为,选择一个候选控制点,获得一组与该所选择的候选控制点所对应的特性点的对应关系。

[0105] 另外,如图2的(b)所示,根据所设定的标准范围,特性空间被分割为标准范围内区域和标准范围外区域。另外,在本实施方式中,也可以对具有最优化目的的产品特性,赋予作为标准范围的制约条件。制约条件是赋予给产品特性的条件,例如,有将产品特性的值的范围指定为条件的制约范围。作为制约范围,例如有通过产品特性的标准确定的标准范围、用户能够适当设定的管理范围等。

[0106] 此外,在本实施方式中,主要针对如第1工艺条件以及第2工艺条件那样工艺条件的数量为2个、且如第1产品特性以及第2产品特性那样产品特性的数量为2个的例子进行说明,但是工艺条件的数量以及产品特性的数量并不限定于2个。工艺条件的数量既可以是1个,也可以是3个以上,产品特性的数量既可以是1个,也可以是3个以上。另外,工艺条件的数量和产品特性的数量可以相等也可以不同。

[0107] 在本实施方式中,该对应关系不需要是普遍性的对应关系,假定依赖于一个时间点之前的控制结果而按时间序列变化。

[0108] 在评价装置100中,用卡尔曼滤波器记述候选控制点与特性点的对应关系。

[0109] 以下,对评价装置100中利用的卡尔曼滤波器进行说明。

[0110] <卡尔曼滤波器>

[0111] 卡尔曼滤波器是通过被称为状态空间模型的数理模型来推定系统内部不可见的状态的计算手法。换言之,卡尔曼滤波器是根据包括误差的观测值来推定随时间变化的系统内部的状态量的计算手法,包括在基于贝叶斯统计的框架中。

[0112] 在将时刻t下的系统的内部状态量设为$X_{(t)}$,将时刻t下的观测量设为$Y_{(t)}$时,卡尔曼滤波器的数理模型能够通过(式1)表现随时间变化的系统的内部状态量。

[0113] [数学式1]

[0114] $$\begin{aligned} X_{(t+1)} &= AX_{(t)} + Bv_{(t)} \\ Y_{(t)} &= CX_{(t)} + w_{(t)} \end{aligned} \qquad (式\ 1)$$

[0115] 在此,A、B、C表示确定变换的矩阵。$v_{(t)}$、$w_{(t)}$表示时刻t下的高斯噪声。高斯噪声的均值以及方差能够由解析人员适当设定,例如设定为0和1等。

[0116] 此外,(式1)的上式也被称为状态方程式,记述了未被观测到的系统的内部状态的时间的发展。(式1)的下式也被称为观测方程式,记述了从系统的内部状态向我们观测的观测量的变换。在系统的内部状态量全部被观测到的情况下,将C设为单位矩阵即可。A、B、C的各要素的值通常是未知的,因此也能够一边以自回归模型等时间序列解析手法依次推定一边推进。

[0117] 以上述的(式1)为基础而公式化的卡尔曼滤波器被称为线性高斯卡尔曼滤波器。在线性高斯卡尔曼滤波器中,根据观测完毕状态量预测的下一时间点下的内部状态量使用(式2)所示那样的预测分布而导出。

[0118] [数学式2]

[0119] $$p\left(X_{(t)}\middle|Y_{(1:t-1)}\right)=\mathcal{N}\left(X_{(t)}^{-},P_{(t)}^{-}\right) \qquad (式2)$$

[0120] 在此,$Y_{(1:t-1)}$表示汇总了从时刻1到时刻t-1的Y的向量。另外,(式2)的右边的正态分布的均值以及方差通过在各时刻求解下述的(式3)的5个更新式来算出。

[0121] [数学式3]

[0122] $$\begin{aligned}X_{(t)}^{-}&=A\hat{X}_{(t-1)}\\P_{(t)}^{-}&=AP_{(t-1)}A^{T}+BQB^{T}\\G_{(t)}&=P_{(t)}^{-}C^{T}\left(CP_{(t)}^{-}C^{T}+R\right)^{-1}\\\hat{X}_{(t)}&=\hat{X}_{(t)}^{-}+G_{(t)}\left(Y_{(t)}-C\hat{X}_{(t)}^{-}\right)\\P_{(t)}&=\left(I-G_{(t)}C\right)P_{(t)}^{-}\end{aligned} \qquad (式3)$$

[0123] 此外,卡尔曼滤波器中例如存在EnKF(Ensemble Kalman Filter:集合卡尔曼滤波器)、EKF(Extended Kalman Filter:扩展卡尔曼滤波器)、UKF (Unscented Kalman Filter:无迹卡尔曼滤波器)、粒子滤波器等,并且根据变换是非线性的情况、噪声是非高斯分布的情况、外部输入影响的情况等而存在各种模式。也就是说,本实施方式中的卡尔曼滤波器的形式可以是上述的任一模式,不作特别指定。另外,候选控制点与特性点的对应关系只要能够用某种概率分布进行推定,则也可以使用卡尔曼滤波器以外的手法。

[0124] 以下,为了使说明简单,以将控制点和特性点汇总来作为内部状态处理的线性高斯形式的卡尔曼滤波器举例来进行说明。

[0125] 在将候选控制点向量$X=(X_1,\cdots\cdots,X_{Dx})$和特性点向量$Y=(Y_1,\cdots\cdots,Y_{Dy})$汇总表示为$Z=(X_1,\cdots\cdots,X_{Dx},Y_1,\cdots\cdots,Y_{Dy})$的情况下,(式1)所示的状态方程式和观测方程式被记述为以下的(式4)那样。

[0126] [数学式4]

[0127] $$\begin{aligned}Z_{内部(t+1)}&=AZ_{内部(t)}+Bv_{(t)}\\Z_{观测(t)}&=CZ_{内部(t)}+w_{(t)}\end{aligned} \qquad (式4)$$

[0128] 在如该(式4)那样被公式化的卡尔曼滤波器中,如果将$Z_{观测(t)}$代入(式3)的第4更新式中的$Y_{(t)}$,则可依次算出Z的内部状态量的预测分布。

[0129] 在此,多维正态分布具有即使在一部分的维度中进行附带条件的操作也会保存正态性的性质。通过使用该性质,目的特性Y的预测分布被导出为正态分布,该目的特性Y作为在提供了作为工艺条件的控制因子X的基础上的产品特性。该正态分布的均值以及方差具体地由(式5)提供。

[0130] [数学式5]

[0131] $$\begin{aligned}(均值)&=A_Y\hat{Z}_{(t)}+P_{YX(t)}^{-}\left(P_{XX(t)}^{-}\right)^{-1}X_{(t)}\\(方差)&=P_{YY(t)}^{-}-P_{YX(t)}^{-}\left(P_{XX(t)}^{-}\right)^{-1}P_{XY(t)}^{-}\end{aligned} \qquad (式5)$$

[0132] 在此,

[0133] [数学式6]

[0134] $\hat{Z}(t)$

[0135] 以及

[0136] [数学式7]

[0137] $P^{-}_{(t)}$

[0138] 作为是使用(式3)算出的量,A_Y、P^{-}_{XX}、P^{-}_{XY}、P^{-}_{YY}、P^{-}_{YX}如图3A以及图3B那样,作为表示提取了矩阵的一部分的要素后的部分矩阵。图3A以及图3B是示出部分矩阵的图。在图3A中示出了确定变换的矩阵A的要素和其部分矩阵A_Y。在图3B中示出了矩阵P^{-}的要素和其部分矩阵P^{-}_{XX},P^{-}_{XY},P^{-}_{YY},P^{-}_{YX}。

[0139] [硬件结构]

[0140] 图4是示出本实施方式所涉及的评价装置100的结构的图。

[0141] 评价装置100具备:输入部101a、通信部101b、运算电路102、存储器103、显示部104以及存储部105。

[0142] 输入部101a是受理由用户进行的输入操作的HMI(Human Machine Interface:人机接口)。输入部101a例如是键盘、鼠标、触摸传感器、触摸板等。

[0143] 例如,输入部101a作为来自用户的输入而受理设定信息210。设定信息210包括工艺条件数据211、目的数据212、制约条件数据213以及区域缩小规则数据214。例如,如图2的(a)所示,工艺条件数据211是表示工艺条件的可取的值的数据。工艺条件的值可以是连续值也可以是离散值。目的数据212例如是表示最小化/最大化等产品特性的最优化目的的数据。制约条件数据213例如是表示制约范围等制约条件的数据。区域缩小规则数据214是表示对帕累托边界进行算出的规则的数据,使改善量的算出方法变更。更具体地,区域缩小规则数据214表示至少由2个产品特性表现的特性空间的分割方法,并且按通过分割方法进行了分割的特性空间的每个区域来表示将活动区域缩小的维度。对于详细情况将后述。

[0144] 通信部101b与其他设备通过有线或者无线连接,与其他设备收发数据。例如,通信部101b从其他装置(例如,控制装置)接收特性点数据201。

[0145] 显示部104显示图像或者文字等。显示部104例如是液晶显示器、等离子显示器、有机EL(Electro-Luminescence:电致发光)显示器等。此外,显示部104也可以是与输入部101a为一体的触摸面板。

[0146] 存储部105存放有记述了对运算电路102的各命令的程序(即计算机程序)200以及各种数据。存储部105是非易失性的记录介质,例如是硬盘等磁存储装置、SSD(Solid State Drive:固态驱动器)等半导体存储器、光盘等。

[0147] 此外,程序200以及各种数据例如也可以经由通信部101b从上述的其他设备被提供给评价装置100,存放在存储部105中。作为各种数据,存储部105存放候选控制点数据221、控制结果数据222、预测分布数据223、评价值数据224。

[0148] 候选控制点数据221是表示各候选控制点的数据。在图2的(a)所示的例子中,各候选控制点通过第1工艺条件以及第2工艺条件的值的组合来表现。候选控制点数据221也可以是列举有第1工艺条件以及第2工艺条件的值的组合的表形式的数据。对于这样的候选控制点数据221的具体例,使用图11A以及图11B来详细地进行说明。

[0149] 控制结果数据222是表示控制中所使用的1个以上的控制点、和分别与该1个以上

的控制点对应的特性点的数据。例如,控制结果数据222表示图2的(a)的控制空间上的控制点、和通过使用该控制点的控制而得到的图2的(b)的特性空间上的特性点的组合。控制点通过第1工艺条件以及第2工艺条件的值的组合来表现。特性点通过第1产品特性以及第2产品特性的值的组合来表现。控制结果数据222也可以是列举有该控制点以及特性点的组合的表形式的数据。对于该控制结果数据222的具体例,使用图12来详细地进行说明。

[0150] 预测分布数据223是表示由候选控制点数据221示出的所有候选控制点的预测分布的数据。如上所述,预测分布是通过基于卡尔曼滤波器的(式3)求出的分布,例如通过均值以及方差来表现。例如,预测分布数据223也可以是针对各候选控制点,将第1产品特性的预测分布和第2产品特性的预测分布建立对应来示出的表形式的数据。对于该预测分布数据223的具体例,使用图14来详细地进行说明。

[0151] 例如,如图1所示,评价值数据224是表示针对多个候选控制点各自的评价值的数据。例如,评价值数据224也可以是将评价值分别与多个候选控制点建立关联来示出的表形式的数据。对于该评价值数据224的另一具体例,使用图28等来详细地进行说明。

[0152] 运算电路102是从存储部105将程序200读出到存储器103并执行展开的程序200的电路。运算电路102例如是CPU(Central Processing Unit:中央处理单元)、GPU(Graphics Processing Unit:图形处理单元)等。

[0153] [功能结构]

[0154] 图5是示出运算电路102的功能结构的框图。

[0155] 运算电路102通过执行程序200,实现用于生成评价值数据224的多个功能。具体地,运算电路102具备:接收控制部(第1接收单元、第2接收单元、第3接收单元以及第4接收单元)10、候选控制点创建部(候选控制点创建单元)11、评价值算出部(算出单元)12以及评价值输出部(输出单元)13。

[0156] <接收控制部10>

[0157] 接收控制部10经由输入部101a或者通信部101b,接收特性点数据201、工艺条件数据211、目的数据212、制约条件数据213以及区域缩小规则数据214。例如,当通过由用户进行的对输入部101a的输入操作而输入特性点数据201时,接收控制部10将该特性点数据201所示的特性点与控制点建立对应,并写入到存储部105的控制结果数据222中。由此,控制结果数据222被更新。当该控制结果数据222被更新时,接收控制部10使评价值算出部12执行使用该更新后的控制结果数据222的处理。也就是说,接收控制部10使评价值算出部12执行评价值的算出。此外,在此时,评价值算出部12使用已经存放在存储部105中的候选控制点数据221来执行评价值的算出。这样,接收控制部10以特性点数据201的输入为触发,使评价值算出部12开始评价值的算出。

[0158] 另外,接收控制部10也可以根据其他触发,使评价值算出部12开始评价值的算出。例如,如果控制结果数据222已经被存放在存储部105中,则接收控制部10也可以以由用户进行的控制点的水准的输入为触发,使评价值算出部12开始评价值的算出。此外,控制点的水准例如是工艺条件可取的值的最小值、最大值以及离散宽度等。也就是说,当由用户输入了控制点的水准,基于该水准而候选控制点数据221被生成时,接收控制部10使评价值算出部12开始基于该候选控制点数据221、控制结果数据222和区域缩小规则数据214的评价值的算出。

[0159] 或者,如果候选控制点数据221已经被存放在存储部105中,则接收控制部10也可以以由用户进行的控制结果数据222的输入为触发,使评价值算出部12开始评价值的算出。当由用户输入了控制结果数据222时,接收控制部10使评价值算出部12开始基于该控制结果数据222、候选控制点数据221和区域缩小规则数据214的评价值的算出。

[0160] 或者,如果候选控制点数据221已经被存放在存储部105中,则接收控制部10也可以以由通信部101b进行的控制结果数据222的接收为触发,使评价值算出部12开始评价值的算出。例如,控制设备、控制装置或者制造装置等向评价装置100发送控制结果数据222,通信部101b接收该控制结果数据222。当由通信部101b接收到控制结果数据222时,接收控制部10使评价值算出部12开始基于该控制结果数据222、候选控制点数据221和区域缩小规则数据214的评价值的算出。

[0161] 这样,如果有候选控制点数据221以及控制结果数据222,则接收控制部10使评价值算出部12开始基于这些数据的评价值的算出。此外,如果控制结果数据222已经被存放在存储部105中,则接收控制部10也可以以由用户进行的候选控制点数据221的输入为触发,使评价值算出部12开始评价值的算出。另外,如果候选控制点数据221以及控制结果数据222已经被存放在存储部105中,则接收控制部10也可以以由用户进行的开始指示的输入为触发,使评价值算出部12开始评价值的算出。

[0162] ＜候选控制点创建部11＞

[0163] 候选控制点创建部11基于由接收控制部10获取到的工艺条件数据211,生成候选控制点数据221。换言之,候选控制点创建部11通过组合多个工艺条件各自的满足给定的条件的值来创建多个候选控制点。在本实施方式中,候选控制点创建部11使用1个以上的工艺条件各自的值来分别创建多个候选控制点。并且,候选控制点创建部11将该生成的候选控制点数据221存放在存储部105中。

[0164] ＜评价值算出部12＞

[0165] 评价值算出部12从存储部105读出候选控制点数据221以及控制结果数据222,基于这些数据生成预测分布数据223,将该预测分布数据223存放在存储部105中。进而,评价值算出部12基于该预测分布数据223和由接收控制部10获取到的目的数据212、制约条件数据213以及区域缩小规则数据214,生成评价值数据224,将该评价值数据224存放在存储部105中。

[0166] 在本实施方式中,评价值算出部12使用卡尔曼滤波器算出多个候选控制点下的预测分布,使用所算出的预测分布,算出评价值。此外,评价值算出部12也可以如后述那样,基于至少1个制约范围之中与矩形不同的形状的制约范围来算出评价值。

[0167] ＜评价值输出部13＞

[0168] 评价值输出部13从存储部105读出评价值数据224,将该评价值数据224输出到显示部104。或者,评价值输出部13也可以经由通信部101b将评价值数据224输出到外部的装置。也就是说,评价值输出部13输出各候选控制点的评价值。此外,评价值输出部13也可以从评价值算出部12直接获取评价值数据224,将该评价值数据224输出到显示部104。同样地,评价值输出部13从存储部105读出预测分布数据223,将该预测分布数据223输出到显示部104。此外,评价值输出部13也可以从评价值算出部12直接获取预测分布数据223,将该预测分布数据223输出到显示部104。

[0169] [输入]

[0170] 图6是示出为了受理设定信息210的输入而显示在显示部104中的受理图像的一个例子的图。

[0171] 受理图像300包括工艺条件区域310和产品特性区域320。工艺条件区域310是用于受理工艺条件数据211的输入的区域。产品特性区域320是用于受理目的数据212以及制约条件数据213的输入的区域。

[0172] ＜工艺条件区域310＞

[0173] 工艺条件区域310具有输入字段311～314。输入字段311是用于输入第1工艺条件的名称的字段。例如,对于输入字段311,作为第1工艺条件的名称输入“X1”。输入字段312是用于输入第1工艺条件的值的字段。例如,对于该输入字段312,作为第1工艺条件的值输入“-5、-4、-3、-2、-1、0、1、2、3、4、5”。同样地,输入字段313是用于输入第2工艺条件的名称的字段。例如,对于输入字段313,作为第2工艺条件的名称输入“X2”。输入字段314是用于输入第2工艺条件的值的字段。例如,对于该输入字段314,作为第2工艺条件的值输入“-5、-4、-3、-2、-1、0、1、2、3、4、5”。

[0174] 通过对这样的输入字段311～314的输入,与其输入结果相应的工艺条件数据211被输入到评价装置100。

[0175] ＜产品特性区域320＞

[0176] 产品特性区域320具有输入字段321～328。输入字段321以及输入字段325是用于输入第1产品特性的名称以及第2产品特性的名称的字段。例如,对于输入字段321,作为第1产品特性的名称输入“Y1”,对于输入字段325,作为第2产品特性的名称输入“Y2”。输入字段322以及输入字段326是用于选择第1产品特性以及第2产品特性的最优化目的的字段。具体地,该输入字段322以及输入字段326分别具有用于将“最大化”、“最小化”以及“标准范围内”之中的任一者选择为目的的3个单选按钮。作为目的的“最大化”以第1产品特性或者第2产品特性的值的最大化为目的,“最小化”以第1产品特性或者第2产品特性的值的最小化为目的。“标准范围内”以第1产品特性或者第2产品特性的值收敛于标准范围内为目的。例如,在通过由用户进行的对输入部101a的输入操作,选择了表示“标准范围内”的单选按钮的情况下,评价装置100作为第1产品特性或者第2产品特性的最优化目的而选择标准范围内。输入字段323以及输入字段324是用于分别输入表示第1产品特性的标准范围的最小值以及最大值的字段。例如,在对于输入字段323作为最小值输入了“30”、并且输入字段324中作为最大值输入了“40”的情况下,评价装置100将标准范围设为30～40。输入字段327以及输入字段328是用于分别输入第2产品特性的标准范围的最小值以及最大值的字段。例如,在输入字段327中作为标准范围的最小值输入了“10”、并且输入字段328是未输入的情况下,评价装置100将标准范围设为10～+∞。此外,在输入字段327是未输入的情况下,评价装置100将标准范围的最小值设为-∞。

[0177] 通过对这样的输入字段321～328的输入,与其输入结果相应的目的数据212以及制约条件数据213被输入到评价装置100。也就是说,接收控制部10获取与对输入字段322以及输入字段326的输入相应的目的数据212,获取与对输入字段323、输入字段324、输入字段327以及输入字段328的输入相应的制约条件数据213。在图6的例子中,该目的数据212作为第1产品特性的最优化目的表示该第1产品特性的值收敛于标准范围内,并且作为第2产品

特性的最优化目的表示该第2产品特性的值的最小化。进而,制约条件数据213表示第1产品特性的标准范围为30～40,并且表示第2产品特性的标准范围为10～+∞。

[0178] ＜区域缩小规则区域330＞

[0179] 图7是示出为了受理区域缩小规则数据214的输入而显示在显示部104中的受理图像的一个例子的图。

[0180] 受理图像300除了图6所示的工艺条件区域310和产品特性区域320以外,还包括图7所示的区域缩小规则区域330。区域缩小规则区域330是用于受理区域缩小规则数据214的输入的区域。

[0181] 区域缩小规则区域330具有输入字段331以及输入字段332。输入字段331是用于输入是否应用区域缩小规则的字段。输入字段332是用于在应用区域缩小规则的情况下输入区域分割中是否包括空集的字段。具体地,对于输入字段331,具有用于对区域缩小规则选择“应用”或者“不应用”的2个单选按钮。另外,对于输入字段332,具有用于选择表示在区域分割中是否进行空集设定的“有”或者“没有”的2个单选按钮。

[0182] 例如,在通过由用户进行的对输入部101a的输入操作而选择了表示“应用”的单选按钮的情况下,评价装置100在评价值的算出处理中应用区域缩小规则。进而,在通过由用户进行的对输入部101a的输入操作而选择了表示“应用”的单选按钮的情况下,评价装置100在评价值的算出处理中,在进行了包括空集的区域分割的基础上应用区域缩小规则,算出改善区域的体积。

[0183] ＜区域缩小规则数据214的一个例子＞

[0184] 图8是示出区域缩小规则数据214的一个例子的图。

[0185] 例如,如图8所示,由图7的受理图像300的区域缩小规则区域330输入的区域缩小规则数据214表示帕累托边界的定义被变更、活动区域的定义被变更、和应用区域分割。由此,改善量的算出方法被变更。此外,变更后的定义以及应用的区域分割的具体例将后述,因此省略这里的说明。

[0186] 此外,工艺条件数据211中包括的工艺条件的值既可以是绝对值,也可以是相对于其他工艺条件的值或者所有工艺条件的值的总和的比率等相对值。另外,也可以示出第1工艺条件的连续变量的值、第2工艺条件的比率变量的值和第3工艺条件的比率变量的值。对于变量,有与连续变量不同的离散变量。在工艺条件为离散变量的情况下,该离散变量如“苹果、桔子、香蕉”或者“有催化剂、无催化剂”那样,不具有大小关系以及数值的大小。比率变量例如表示在通过将第1工艺条件的材料和第2工艺条件的材料混配而生成的合成材料中第1工艺条件或者第2工艺条件的材料的混配比。

[0187] 另外,目的数据212例如表示第1产品特性的最优化目的和第2产品特性的最优化目的。另外,由图6的受理图像300的产品特性区域320输入的制约条件数据213也可以表示第1产品特性的标准范围和第2产品特性的标准范围。具体地,对于目的数据212,也可以作为第1产品特性的最优化目的示出“标准范围内”,作为第2产品特性的最优化目的示出“最小化”。另外,对于制约条件数据213,作为第1产品特性的标准范围示出最小值“30”～最大值“40”的范围,作为第2产品特性的标准范围示出最小值“10”～最大值“+∞”的范围。因此,第2产品特性的最优化目的为在最小值“10”以上的标准范围内的第2产品特性的值的最小化。

[0188] ＜标准范围的一个例子＞

[0189] 图9A是示出标准范围的一个例子的图。

[0190] 例如,如图9A那样,由制约条件数据213示出的标准范围在特性空间上用矩形的范围来表现。此外,在图9A所示的例子中,标准范围的形状为矩形,但是也可以是其他形状。也就是说,标准范围的形状只要能够实现后述的评价值的算出,也可以是任意的形状。

[0191] 图9B是示出标准范围的另一例的图。

[0192] 如图9B所示,标准范围例如也可以是圆形。在一个具体的例子中,第1产品特性以及第2产品特性的特性空间中的标准范围由圆的中心(20,20)和半径10来表现。此外,该标准范围的形状可以是圆形以外的形状,可以是椭圆形、星形等。

[0193] 这样,在本实施方式中,评价值算出部12也可以基于与矩形不同的形状的标准范围来算出各候选控制点的评价值。由此,由于在特性空间中,基于圆形、椭圆形、星形等的标准范围来算出评价值,因此并不限定于标准范围的形状是矩形的情况,能够进一步扩展应用场景。

[0194] [处理动作]

[0195] 评价装置100使用如上述那样输入的各数据来进行与评价值的算出以及输出有关的处理。

[0196] 图10是示出本实施方式所涉及的评价装置100的处理动作的流程图。

[0197] 首先,候选控制点创建部11使用工艺条件数据211来生成候选控制点数据221(步骤S21)。

[0198] 接下来,接收控制部10获取目的数据212(步骤S22)。也就是说,接收控制部10执行第2接收步骤,该第2接收步骤获取表示最优化目的的目的数据212。在此,未知的特性点表示1个或者多个产品特性的值,至少1个产品特性具有最优化目的。进而,接收控制部10获取制约条件数据213(步骤S23)。也就是说,接收控制部10执行第3接收步骤,该第3接收步骤获取表示对至少1个产品特性赋予的制约条件的制约条件数据213。进而,接收控制部10获取表示对帕累托边界进行算出的规则的区域缩小规则数据214(步骤S24)。也就是说,接收控制部10执行获取区域缩小规则数据214的第4接收步骤,该区域缩小规则数据214表示由至少1个产品特性表现的特性空间的分割方法,并且按通过该分割方法进行了分割的特性空间的每个区域来表示将活动区域缩小的维度。进而,接收控制部10从存储部105读出控制结果数据222(步骤S25)。也就是说,接收控制部10执行第1接收步骤,该第1接收步骤获取表示第1时刻下的控制完毕的控制点以及第1时刻下的已知的特性点的控制结果数据222。此外,在控制结果数据224中未示出任何特性点的情况下,跳过包括该步骤S25的步骤S25～S27的处理。

[0199] 并且,评价值算出部12基于目的数据212、制约条件数据213、区域缩小规则数据214、候选控制点数据221以及控制结果数据222,算出各候选控制点的评价值(步骤S26)。也就是说,评价值算出部12基于这些数据,执行对多个未知的特性点各自的评价值进行算出的算出步骤。具体地,评价值算出部12使用基于区域缩小规则进行了变更的改善量的算出方法来算出候选控制点数据221所示的各候选控制点的评价值。另外,在该算出步骤中,评价值算出部12也可以将与制约条件的符合程度相应的权重赋予给针对至少1个产品特性的评价值。并且,评价值算出部12生成表示该算出后的各候选控制点的评价值的评价值数据

224。

[0200] 接下来,评价值输出部13将由步骤S5算出的评价值即评价值数据224输出到显示部104(步骤S27)。也就是说,评价值输出部13执行输出评价值的输出步骤。由此,评价值数据224例如被显示在显示部104上。

[0201] 并且,接收控制部10根据由用户进行的对输入部101a的输入操作,从该输入部101a获取操作信号。操作信号表示最优解的搜索的结束或者最优解的搜索的继续执行。此外,最优解的搜索是进行基于新的控制结果的各候选控制点的评价值的算出以及输出的处理。接收控制部10判定该操作信号是表示最优解的搜索的结束,还是表示继续执行(步骤S28)。

[0202] 在此,接收控制部10当判定为操作信号表示最优解的搜索的结束时(步骤S28的“结束”),结束全部的处理。另一方面,接收控制部10当判定为操作信号表示最优解的搜索的继续执行时(步骤S28的“继续执行”),将作为接下来的控制点而选择的候选控制点写入存储部105的控制结果数据222中。在量产现场(生产工序)中,可以在生产持续的期间内选择继续执行。例如,通过用户进行针对输入部101a的输入操作,接收控制部10从评价值数据224将候选控制点选择为接下来的控制点。接收控制部10将这样选择的候选控制点写入到控制结果数据222中。并且,当通过控制得到与接下来的控制点对应的特性点时,用户通过进行针对输入部101a的输入操作,将表示该特性点的特性点数据201输入到评价装置100。接收控制部10获取该输入的特性点数据201,将由该特性点数据201表示的特性点写入存储部105的控制结果数据222中。此时,该特性点与最近选择并写入的控制点建立对应。由此,新的控制结果被记录在控制结果数据222中(步骤S29)。也就是说,控制结果数据222被更新。当控制结果数据222被更新时,评价值算出部12反复执行从步骤S25起的处理。

[0203] 通过经过以上那样的流程的过程,能够根据过去的控制结果,定量地解析接下来应进行的最佳的控制条件(即候选控制点)。其结果,能够期待不依赖于用户等解析人员的力量地缩短开发周期。

[0204] <候选控制点数据221的一个例子>

[0205] 图11A是示出候选控制点数据221的一个例子的图。

[0206] 候选控制点创建部11基于工艺条件数据211,生成图11A所示的候选控制点数据221。例如,在由工艺条件数据211示出的全部的工艺条件各自的值是连续变量的值、并且对于该值没有制约的情况下,候选控制点创建部11将各工艺条件的值的所有组合分别创建为候选控制点。例如,假设工艺条件数据211表示第1工艺条件的连续变量的值“10、20、30、40、50”和第2工艺条件的连续变量的值“100、200、300、400、500”。在该情况下,候选控制点创建部11将第1工艺条件的值“10”和第2工艺条件的值“100”的组合、第1工艺条件的值“10”和第2工艺条件的值“200”的组合等全部的组合分别创建为候选控制点。候选控制点创建部11将控制点编号与该创建出的候选控制点建立关联,生成表示与该控制点编号建立了关联的候选控制点的候选控制点数据221。

[0207] 在一个具体的例子中,如图11A所示,候选控制点数据221表示与控制点编号“1”建立了关联的候选控制点(10,100)、与控制点编号“2”建立了关联的候选控制点(10,200)、与控制点编号“3”建立了关联的候选控制点(10,300)等。此外,这些候选控制点的第1分量表示第1工艺条件的值,第2分量表示第2工艺条件的值。

[0208] 在此,也可以仅将值的所有组合之中满足某制约的值的组合创建为候选控制点。例如,在材料开发中,在作为第1工艺条件和第2工艺条件分别设定第1化合物和第2化合物,作为值设定它们的混配比的情况下,候选控制点创建部11仅将和满足1的值的组合用作候选控制点。在图11B的候选控制点数据221中示出了一个例子。

[0209] 图11B是示出候选控制点数据221的另一例的图。

[0210] 候选控制点创建部11基于工艺条件数据211,生成图11B所示的候选控制点数据221。例如,假设工艺条件数据211作为第2工艺条件的比率变量的值表示“0.0、0.2、0.4、0.6、0.8、1.0”,作为第3工艺条件的比率变量的值表示“0.0、0.2、0.4、0.6、0.8、1.0”。在该情况下,这些比率变量的值的组合相当于上述的第1化合物和第2化合物的混配比。因此,候选控制点创建部11将第1工艺条件的值、第2工艺条件的值和第3工艺条件的值的组合创建为候选控制点,使得第2工艺条件的比率变量的值和第3工艺条件的比率变量的值的和满足1即可。例如,候选控制点创建部11将第1工艺条件的值“10”、第2工艺条件的值“0.2”和第3工艺条件的值“0.8”的组合等比率变量的值的和满足1的值的组合创建为候选控制点即可。候选控制点创建部11将控制点编号与该创建出的候选控制点建立关联,生成表示与该控制点编号建立了关联的候选控制点的候选控制点数据221。

[0211] 在一个具体的例子中,如图11B所示,候选控制点数据221表示与控制点编号“1”建立了关联的候选控制点(10,0.0,1.0)、与控制点编号“2”建立了关联的候选控制点(10,0.2,0.8)、与控制点编号“3”建立了关联的候选控制点(10,0.4,0.6)等。此外,这些候选控制点的第1分量表示第1工艺条件的值,第2分量表示第2工艺条件的值,第3分量表示第3工艺条件的值。

[0212] 这样,在本实施方式中,在有多个工艺条件的情况下,候选控制点创建部11在分别创建多个候选控制点时,通过组合该多个工艺条件各自的满足给定的条件的值来创建该候选控制点。例如,如图11B所示,给定的条件是多个工艺条件各自的比率变量的值的和为1这样的条件。在更具体的一个例子中,该比率变量是与工艺条件对应的化合物等材料的混配比。因此,能够按多种化合物的混配比的组合来算出针对该组合的评价值。其结果,能够恰当地搜索通过这些化合物的混配而得到的合成材料的1个以上的产品特性所对应的最优解。

[0213] <控制结果数据222的一个例子>

[0214] 图12是示出控制结果数据222的一个例子的图。

[0215] 评价值算出部12为了算出评价值,读出存储部105中所存放的控制结果数据222。如图12所示,该控制结果数据222按每个控制编号来示出在通过该控制编号识别的控制中使用的控制点、和作为由该控制得到的控制结果的特性点。控制点通过各工艺条件的值的组合来表现。例如,控制点通过作为第1工艺条件的值“10”和第2工艺条件的值“100”的组合的值的组合来表现。特性点通过由控制得到的各产品特性的值的组合来表现。此外,以下,产品特性的值也被称为产品特性值。例如,特性点通过第1产品特性的值“8”和第2产品特性的值“0.0”的组合来表现。

[0216] 在一个具体的例子中,如图12所示,控制结果数据222表示与控制编号“1”建立了关联的控制点(10,100)以及特性点(8,0.0)、与控制编号“2”建立了关联的控制点(10,500)以及特性点(40,1.6)、与控制编号“3”建立了关联的控制点(50,100)以及特性点(40,1.6)

等。

[0217] [评价值的算出处理]

[0218] 图13是用于说明由评价值算出部12进行的处理的图。评价值算出部12基于由候选控制点创建部11生成的候选控制点数据221、和位于存储部105的控制结果数据222,生成预测分布数据223。并且,评价值算出部12基于表示各产品特性的最优化目的的目的数据212、表示各产品特性的标准范围的制约条件数据213、表示对帕累托边界进行算出的规则的区域缩小规则数据214和预测分布数据223,生成评价值数据224。

[0219] 在此,控制结果数据222表示多个候选控制点之中的作为已经用于控制的1个以上的候选控制点的1个以上的控制点、和作为分别与该1个以上的控制点对应的特性点且使用了该控制点的1个以上的产品特性的控制结果。因此,本实施方式中的评价值算出部12基于(a)1个以上的产品特性各自的最优化目的以及标准范围、(b)多个候选控制点之中的作为已经用于控制的1个以上的候选控制点的1个以上的控制点、和(c)作为分别与1个以上的控制点对应的特性点且表示使用了该控制点的1个以上的产品特性的控制结果的特性点,基于贝叶斯最优化来算出各候选控制点的评价值。

[0220] 评价值算出部12将该生成的评价值数据224输出到评价值输出部13。此外,评价值算出部12也可以将预测分布数据223也输出到评价值输出部13。或者,评价值算出部12也可以将预测分布数据223存放在存储部105,评价值输出部13根据由用户进行的对输入部101a的输入操作,从该存储部105读出预测分布数据223。

[0221] 评价值算出部12使用上述的卡尔曼滤波器来记述候选控制点与特性点的对应关系。

[0222] 评价值算出部12通过针对在上述步骤S25中从存储部105读出的控制结果数据222所示的已知的控制结果,进行使用上述(式3)的运算,生成预测分布数据223。

[0223] 图14是示出预测分布数据223的一个例子的图。预测分布数据223表示各候选控制点下的预测分布的均值和方差。该预测分布是针对各产品特性而通过基于卡尔曼滤波器的(式3)算出的分布。例如,如图14所示,预测分布数据223按每个控制点编号示出与该控制点编号对应的第1产品特性的预测分布的均值以及方差、和第2产品特性的预测分布的均值以及方差。

[0224] 在一个具体的例子中,如图14所示,预测分布数据223表示与控制点编号“1”对应的第1产品特性的均值“23.5322”以及方差“19.4012”、和第2产品特性的均值“0.77661”以及方差“0.97006”。进而,预测分布数据223表示与控制点编号“2”对应的第1产品特性的均值“30.2536”以及方差“21.5521”和第2产品特性的均值“1.11268”以及方差“1.07761”。此外,如图11A或者图11B所示,控制点编号与候选控制点建立了对应。

[0225] 评价值算出部12基于贝叶斯最优化中被称为获得函数的评价基准来算出评价值。对于该评价值的算出,使用上述的预测分布。另外,本实施方式中的获得函数是有制约条件的贝叶斯最优化中的获得函数。

[0226] <没有制约条件的贝叶斯最优化的获得函数>

[0227] 首先,在本实施方式中的获得函数的说明之前,对没有制约条件的贝叶斯最优化的获得函数(即非专利文献1的EHVI)进行说明。但是,关于最大化和最小化,当使它们之中的一者的符号反转时,则与另一者等价,因此统一为最小化来进行说明。在EHVI中,认为改

善区域的体积(也称为改善量)越大,得到从暂定的控制结果越大幅改善的特性点。该改善区域是被根据已经从所进行的控制得到的至少1个特性点之中的帕累托点(即非劣解)的坐标而确定的帕累托边界、和在观测到新的特性点时由新的特性点新确定的帕累托边界包围的区域。此外,帕累托点是在当前时间点暂定作为帕累托解的特性点。例如,在第1产品特性以及第2产品特性各自的最优化目的为最小化的情况下,不存在第1产品特性以及第2产品特性的任一值比帕累托点小的其他特性点。帕累托边界是通过将帕累托点的坐标分别沿着第1产品特性以及第2产品特性的方向连结而确定的边界线。另外,以后,在用帕累托边界划分了特性空间整体时,关于各产品特性,将值小的一侧称为活动区域,将值大的一侧称为非活动区域。将新的特性点进入了非活动区域时的改善量设为0。

[0228] 图15A是示出改善区域的一个例子的图。

[0229] 例如,如图15A所示,被根据4个帕累托点21～24而确定的帕累托边界31、和在得到1个新的特性点y_{new}时新确定的帕累托边界32包围的区域,被确定为改善区域。

[0230] 在此,通过卡尔曼滤波器选择了各候选控制点的情况下的各产品特性值的行为以正态分布的形式表现,改善量也根据观测到的特性点的位置而变动。如以下的(式6)那样,EHVI被定义为对于各候选控制点,在预测分布中取改善量的期待值而得到的量。由EHVI得到的值越大的候选控制点,改善量的期待值越大,表示接下来应执行的控制点。

[0231] [数学式8]

[0232] $$EHVI(x_{new}) = \int_{\mathbb{R}^D} I(y_{new})\, p(y_{new}|x_{new})\, dy_{new} \qquad (式\ 6)$$

[0233] 在(式6)中,D表示产品特性的数量(即维数),

[0234] [数学式9]

[0235] $$\mathbb{R}^D$$

[0236] 表示D维欧几里德空间,$I(y_{new})$表示改善量。另外,$p(y_{new}|x_{new})$表示从至少1个候选控制点之中将1个候选控制点选择为新的控制点x_{new}时的、与该新的控制点x_{new}对应的特性点y_{new}的预测分布。该特性点y_{new}的各维的预测分布即均值以及方差通过上述(式3)求出。

[0237] <有制约条件的贝叶斯最优化的获得函数>

[0238] 接下来,对本实施方式中的获得函数进行说明。本实施方式中的获得函数是有制约条件的情况下的贝叶斯最优化的获得函数。此外,在没有制约条件的情况下,评价值算出部12使用由上述(式6)表示的获得函数即可。假设D个产品特性之中$y_1 \sim y_{Dminimize}$的$D_{Dminimize}$个产品特性的最优化目的为最小化,剩余的$y_{Dminimize+1} \sim y_D$的D_{range}(=$D-D_{minimize}$)个产品特性的最优化目的为标准范围内。此时,本实施方式中的获得函数即附带制约条件的EHVIC被定位为以下的(式7)。

[0239] [数学式10]

[0240] $$EHVIC(x_{new}) = \int_{R_{minimize}} IC(y_{new})\, p\left(y_{new,minimize}|x_{new}\right) dy_{new,minimize} \times Pr\{y_{new,range} \in R_{range}\} \qquad (式\ 7)$$

[0241] 在(式7)中,$R_{minimize}$表示对于最优化目的为最小化的产品特性$y_1 \sim y_{Dminimize}$,全部

为标准范围内的区域。R_{range}表示对于最优化目的为标准范围内的产品特性$y_{Dminimize+1}$～y_D全部为标准范围内的区域。此外,$R_{minimize}$以及R_{range}各自的区域通过表示与该区域对应的标准范围的形状的函数来表现。如图9B所示,如果标准范围的形状为圆,则$R_{minimize}$以及R_{range}各自的区域通过表示该圆的函数来表现。另外,如果标准范围的形状为星形,则$R_{minimize}$以及R_{range}各自的区域通过表示该星形的函数来表现。$y_{new,minimize}$表示通过从特性点y_{new}的全部的维度提取最优化目的为最小化的产品特性的各维而得到的向量。$y_{new,range}$表示通过从特性点y_{new}的全部的维度提取最优化目的为标准范围内的产品特性的各维而得到的向量。IC(y_{new})是有制约条件的情况下的改善量,表示被现有的帕累托边界和新确定的帕累托边界包围的区域的体积。该现有的帕累托边界是由在标准范围内存在的至少1个帕累托点及其标准范围各自的坐标确定的边界。新确定的帕累托边界是在观测到新的特性点时,由作为该新的特性点的帕累托点以及标准范围各自的坐标确定的边界。P_r{A}表示事件A成立的概率,例如使用由(式3)算出的均值以及方差来表现。

[0242] 图15B是示出本实施方式所涉及的改善区域的另一例的图。本实施方式与非专利文献2的较大的不同在于,对于最优化目的为最小化的产品特性,在本实施方式中,积分范围从特性空间整体被限制在标准范围内,改善量的测量方法根据标准范围而改变。在未指定标准范围的最大值以及最小值的情况下,最大值被设定为+∞,最小值被设定为-∞。在最优化目的为最小化的全部的产品特性的标准范围的最大值以及最小值分别为+∞以及-∞并且D_{range}=0时,本实施方式中的获得函数即EHVIC回到非专利文献1的EHVI。另外,在最优化目的为最小化的全部的产品特性的标准范围的最大值以及最小值分别为+∞以及-∞并且D_{range}≥1时,本实施方式中的获得函数即EHVIC回到非专利文献2的EHVIC。因此,本实施方式中的评价装置100也能够用以往的手法算出评价值。

[0243] 另外,在非专利文献2中,设想了存在一个以上最优化目的为最小化的产品特性的最优化问题,也就是$D_{minimize}$≥1,但是在本实施方式中的获得函数中,即使在$D_{minimize}$=0(即D_{range}=D)的情况下也能够没有不适地进行公式化。因此,本实施方式中的获得函数也可自然地扩展到作为全部的产品特性的最优化目的为标准范围内的最优化问题中。

[0244] 接下来,对本实施方式中的获得函数即EHVIC的具体的算出方法进行说明。

[0245] 图16A是用于说明改善区域的体积的算出方法的图。此外,图16A的(a)表示特性空间中的改善区域,图16A的(b)表示被设为分割的对象的该改善区域,图16A的(c)表示通过改善区域的分割而得到的多个小区域。

[0246] 如图16A那样,评价值算出部12针对作为最优化目的为最小化的产品特性的维度,算出作为改善区域的体积的改善量(即IC(y_{new}))。也就是说,评价值算出部12利用帕累托点以及新的特性点各自的坐标来将改善区域分割为多个小区域,算出各小区域的体积的期待值之后,取这些期待值的和,由此算出改善量(即IC(y_{new}))。另外,评价值算出部12针对作为最优化目的为标准范围内的产品特性的维度,算出各产品特性值进入标准范围内的概率。

[0247] 图16B是示出将特性空间的整体分割为多个小区域的例子的图。

[0248] 如图16B那样,评价值算出部12针对作为最优化目的为最小化的产品特性的维度、和作为最优化目的为标准范围内的产品特性的维度,将特性空间整体分割为多个小区域,通过使用以下的(式8),统一地算出获得函数。也就是说,评价值算出部12利用帕累托点、新的特性点以及标准值各自的坐标来将特性空间整体分割为多个小区域,通过分为以下的

(式8)那样的情况下的计算来执行各小区域的体积的算出。此外,上述的标准值是标准范围的最大值以及最小值。并且,评价值算出部12通过取对这些小区域的体积进行了期待值处理而得到的值的和,统一地算出有制约条件的情况下的获得函数。此外,该体积也被称为D维超体积。

[0249] [数学式11]

$$(\text{小区域的体积}) = \prod_{d=1}^{D} c_d \times l(y_d, y'_d)$$

[0250]

$$l(y_d, y_d') = \begin{cases} 0 & (i) \\ 1 & (ii) \\ (y'_d - y_d) & (iii) \end{cases} \qquad (\text{式 8})$$

[0251] 在(式8)中,y_d表示小区域的下端点(y_1,……,y_D)的第d分量,y'_d表示小区域的上端点(y'_1,……,y'_D)的第d分量。

[0252] 图16C是示出小区域的下端点以及上端点的一个例子的图。

[0253] 在D=2的情况下,如图16C所示,(y_1,y_2)表示小区域的下端点,(y'_1,y'_2)表示小区域的上端点。

[0254] 另外,(式8)中的(i)被应用于区间[y_d,y'_d]相对于维度d为标准范围外时。(ii)被应用于区间[yd,y'd]相对于维度d为标准范围内且维度d的产品特性的最优化目的为标准范围内时。(iii)被应用于区间[yd,y'd]相对于维度d为标准范围内且维度d的产品特性的最优化目的为最小化时。c_d是权重系数,在按每个产品特性的维度d赋予搜索的优先级时等适当设定。例如,维度d的优先级越高,使用越小的权重系数c_d,相反地,维度d的优先级越低,使用越大的权重系数c_d。权重系数c_d的倒数也可以是优先级。如果没有特别指定,即在各维度d的优先级相等的情况下,各维度d的c_d例如全部被设定为1。

[0255] 以上是本实施方式中的获得函数和该获得函数的具体的算出方法的说明。

[0256] 由此,即使在有制约条件的多目的最优化问题中,也能够通过一贯的过程进行定量的评价。更具体地,能够利用有制约条件的情况下的贝叶斯最优化的获得函数,针对各候选控制点,将特性空间中的制约范围内的体积算出为最优化的改善量,根据该改善量恰当地算出评价值。

[0257] 然而,在对有制约条件的情况下的贝叶斯最优化的获得函数进行算出时,例如需要如图16A那样将改善区域分割为多个小区域,算出各小区域的体积的期待值之后,取这些期待值的和。更一般化,则在将产品特性的数量即维数设为D时,改善区域能够以多个D维超长方体(hyper-cuboid)的和区域来表示。因此,在对有制约条件的情况下的贝叶斯最优化的获得函数进行算出时,需要通过将改善区域分割为多个D维超长方体,算出各超长方体的体积的期待值之后,取这些期待值的和来算出。因此,获得函数的计算量较大依赖于构成改善区域的超长方体的个数。超长方体的个数使用作为产品特性的数量(维数)的D、和作为观测到的特性点之中的帕累托点的数量的帕累托点数N_{pareto},

[0258] [数学式12]

[0259] $$O\left(N^{D^2}{}_{pareto}\right)$$

[0260] 呈指数函数级地增加。此外,在实用上,大概3维(D=3)是能够计算的界限。

[0261] 为此,以下说明为了保持搜索效率的同时削减计算量,高速地执行定量的评价而改良的改善区域的体积的算出方法。

[0262] <改良的改善区域的体积的算出方法>

[0263] 在对改良的改善区域的体积的算出方法进行说明之前,对表示对帕累托边界进行算出的规则并使改善量的算出方法变更的区域缩小规则进行说明。

[0264] 在区域缩小规则中,示出了将特性空间分割为给定数量的区域的方法和帕累托边界的算出方法。以下,为了使说明简单,作为未设定标准范围来说明。

[0265] 在应用区域缩小规则的情况下,对于产品特性的数量D个即D维的产品特性,特性空间整体被分割(区域分割)为D+1个区域。区域分割的方法可以是任意的方法。假设区域分割后的特性空间的区域依次被命名为区域1、区域2、……、区域D、区域D+1。

[0266] 图17是示出在应用区域缩小规则的情况下被区域分割的特性空间的一个例子的图。在图17所示的例子中,由于产品特性的数量为2个(D=2),因此特性空间被区域分割为3个区域即区域1、区域2以及区域3。

[0267] 在图17所示的例子中,在特性空间中示出了由“-∞”~“10”的第1产品特性的范围和“-∞”~“10”的第2产品特性的范围构成的第3区域。另外,在特性空间中,示出了在除了第3区域以外的区域中比由45度的倾斜度规定的直线更靠下的区域即第1区域、和在除了第3区域以外的区域中比由45度的倾斜度规定的直线更靠上的区域即第2区域。

[0268] 此外,在应用区域缩小规则的情况下,也可以在区域分割后的特性空间的D+1个区域中设定空集,但是由于D+1个区域全部为空集是无意义的,因此假设至少1个是不空的集合。

[0269] 图18A~图18C是示出在应用本实施方式所涉及的区域缩小规则的情况下被区域分割的特性空间的另一例的图。

[0270] 在图18A所示的例子中,示出了对于2维的产品特性,将区域3设定为空集从而特性空间被分割为2个区域的情况。更具体地,如图18A所示,由于第3区域是空集,因此被区域分割为在特性空间中比由45度的倾斜度规定的直线更靠下的区域即第1区域、和在特性空间中比由45度的倾斜度规定的直线更靠上的区域即第2区域。

[0271] 在图18B所示的例子中,示出了对于2维的产品特性,将区域2以及区域3设定为空集从而特性空间被分割为1个区域1的情况。更具体地,如图18B所示,由于第2区域以及第3区域是空集,因此特性空间整体仅被区域分割为第1区域。

[0272] 在图18C所示的例子中,示出了对于2维的产品特性,将区域3设定为空集从而特性空间被分割为2个区域的情况。也就是说,在图18C所示的例子中,由于第3区域是空集,因此特性空间整体被区域分割为第1区域以及第2区域。更具体地,如图18C所示,在特性空间中被区域分割为通过圆的中心(10,10)和半径5来表现的区域即第1区域、和在特性空间中除了第1区域以外的区域即第2区域。

[0273] 这样,在应用区域缩小规则的情况下,可以在区域分割后的特性空间的D+1个区域中设定空集。但是,在该情况下,特性空间上的任意的点被分配到空集以外的任一区域内。

[0274] 接下来,对应用区域缩小规则的情况下的帕累托边界的算出方法进行说明。

[0275] 在此,如上所述,帕累托点是在当前时间点暂定作为帕累托解的特性点,也被称为

非劣解。例如,假设在由2维的产品特性构成的特性空间中,第1产品特性以及第2产品特性各自的最优化目的为最小化。在该情况下,帕累托点成为以下特性点:与观测到的全部的其他特性点相比,不存在第1产品特性以及第2产品特性的任一值小于该点的其他特性点。

[0276] 另外,帕累托边界是由至少1个帕累托点的坐标确定的边界。例如,如图16A所示,上述的帕累托边界是通过分别将帕累托点的坐标向第1产品特性以及第2产品特性的值较大的方向延长并连结而确定的边界线。另一方面,当应用区域缩小规则时,帕累托边界的算出方法被变更。即,在应用区域缩小规则的情况下,通过按每个区域确定缩小活动区域的维度来变更帕累托边界的定义。

[0277] 在此,对应用区域缩小规则而变更了帕累托边界的定义的情况下的帕累托边界的算出方法进行说明。

[0278] 图19~图22是用于说明应用区域缩小规则的帕累托边界的算出方法的图。在图19~图22的(a)中示出了定义变更前的帕累托边界的算出方法即未应用区域缩小规则的帕累托边界的算出方法的例子。在图19~图22的(b)中示出了定义变更后的帕累托边界的算出方法即应用区域缩小规则的帕累托边界的算出方法的例子。此外,在图19~图22中,例如假设在由2维的产品特性构成的特性空间中,第1产品特性以及第2产品特性各自的最优化目的为最小化。另外,在图19~图22的(b)中,假设在特性空间中,以由穿过原点的45度的倾斜度规定的直线区域分割为区域1和区域2。

[0279] 例如,在图19中,在得到第1个新的特性点$y_{new(1)}$时,新的特性点$y_{new(1)}$成为帕累托点。在该情况下,如图19的(a)所示,在未应用区域缩小规则而定义未被变更时,通过将新的特性点$y_{new(1)}$的坐标分别沿着第1产品特性以及第2产品特性的方向连结而确定的边界线成为帕累托边界。另一方面,如图19的(b)所示,在应用区域缩小规则而定义被变更时,新的特性点$y_{new(1)}$位于区域2,因此穿过新的特性点$y_{new(1)}$的第1产品特性的坐标并与第2产品特性的轴平行从而确定的边界线成为帕累托边界。换言之,新的特性点$y_{new(1)}$的第1产品特性的坐标$y_{new1(1)}$比新的特性点$y_{new(1)}$的第2产品特性的坐标$y_{new2(1)}$大。因此,将比新的特性点$y_{new1(1)}$更靠右侧的区域设为非活动区域。另外,这也能够表现为通过新的特性点$y_{new(1)}$的坐标$y_{new1(1)}$将活动区域缩小(削减)。

[0280] 接下来,例如,在图20中,在得到第2个新的特性点$y_{new(2)}$时,新的特性点$y_{new(2)}$成为帕累托点。在该情况下,如图20的(a)所示,在未应用区域缩小规则而定义未被变更时,通过将特性点$y_{new(1)}$的坐标和新的特性点$y_{new(2)}$的坐标向第1产品特性以及第2产品特性的值较大的方向延长并连结而确定的边界线成为帕累托边界。另一方面,如图20的(b)所示,在应用区域缩小规则而定义被变更时,新的特性点$y_{new(2)}$位于区域1。因此,由穿过新的特性点$y_{new(2)}$的第2产品特性的坐标并与第1产品特性的轴平行从而确定的线、和穿过特性点$y_{new(1)}$的第1产品特性的坐标并与第2产品特性的轴平行从而确定的线构成的边界线成为帕累托边界。换言之,新的特性点$y_{new(2)}$的第2产品特性的坐标$y_{new2(2)}$比新的特性点$y_{new(2)}$的第1产品特性的坐标$y_{new1(2)}$大。因此,将比新的特性点$y_{new1(1)}$更靠右侧的区域或者比新的特性点$y_{new2(2)}$更靠上侧的区域设为非活动区域。另外,这也能够表现为通过新的特性点$y_{new(2)}$的坐标$y_{new2(2)}$将活动区域进一步缩小(削减)。

[0281] 此外,例如,在图21中,在得到第3个新的特性点$y_{new(3)}$时,新的特性点$y_{new(3)}$未成为帕累托点。在该情况下,如图21的(a)以及(b)所示,帕累托边界未被变更。换言之,在新的特

性点$y_{new(3)}$未包括在活动区域而包括在非活动区域的情况下,不会成为帕累托点,因此帕累托边界未被变更。

[0282] 接下来,例如,在图22的(a)中,在得到第4个新的特性点$y_{new(4)}$时,新的特性点$y_{new(4)}$成为帕累托点。在该情况下,在图22的(a)中,新的特性点$y_{new(4)}$包括在活动区域,因此帕累托边界被变更。另一方面,在图22的(b)中,新的特性点$y_{new(4)}$包括在非活动区域,因此帕累托边界未被变更。

[0283] 这样,在应用区域缩小规则的情况下,能够通过按每个区域确定缩小活动区域的维度来变更帕累托边界的定义。

[0284] 图23是示出没有制约条件的情况下的帕累托边界的一个例子的图。在图23中,示出了在如图17所示进行了区域分割的情况下算出的帕累托边界的一个例子。此外,在图23中,例如在由2维的产品特性构成的特性空间中,假设第1产品特性以及第2产品特性各自的最优化目的为最小化。另外,在图23所示的例子中,假设区域1以及区域2被用于帕累托边界的算出,另一方面,区域3未被用于帕累托边界的算出。

[0285] 并且,这样的帕累托边界能够如(式9)这样进行公式化。

[0286] [数学式13]

[0287] $$\left\{y \in \mathbb{R}^D \middle| {}^\forall d \in \{1, \ldots\ldots, D\}, y_d \leqslant y'_d\right\} \setminus \left\{y \in \mathbb{R}^D \middle| {}^\forall d \in \{1, \ldots\ldots, D\}, y_d < y'_d\right\} \quad (式9)$$

[0288] 在此,对于D维的产品特性,特性空间整体被分割为D+1个区域,对于各d=1,……,D,在观测到的特性点之中包括在区域d中的特性点之中,将y_d坐标最小的坐标设为y'd。此外,对于区域D+1中包括的特性点,不作任何操作。另外,y'd的初始值设为各标准上限值。此时,由(式9)表示的区域成为应用区域缩小规则的情况下的帕累托边界。在(式9)中,D表示产品特性的数量(维数),

[0289] [数学式14]

[0290] $$y \in \mathbb{R}^D$$

[0291] 表示y是D维欧几里德空间的要素。\表示是从反斜杠的左侧的集合去除了反斜杠的右侧的集合中包括的要素而得到的集合(差集合)。

[0292] [数学式15]

[0293] $$\forall$$

[0294] 即倒A表示取集合中的“任意”的要素。

[0295] 因此,评价值算出部12根据(式9),在区域d中包括的特性点之中,将通过具有y_d坐标最小的坐标y'_d的特性点中的坐标y'_d而确定的边界算出为帕累托边界。

[0296] 图24是示出图23所示的帕累托边界的基础上的改善区域的一个例子的图。

[0297] 这样,如图24那样,评价值算出部12能够针对最优化目的为最小化的产品特性的维度、和最优化目的为标准范围内的产品特性的维度,算出作为改善区域的体积的改善量(即$I(y_{new})$)。也就是说,在应用区域缩小规则的情况下,评价值算出部12能够通过算出由现有的帕累托边界和新确定的帕累托点确定的1个小区域的体积的期待值,来算出改善量(即$I(y_{new})$)。直观地对此进行说明,则评价值算出部12能够根据能够由1个小区域的体积的期待值表示的非活动区域的增加量来算出改善量。

[0298] 在对这样的改善量进行算出的方法中,将新的特性点y_{new}的y_d坐标预先设为$y_{new,d}$,则观测到y_{new}时的改善区域的体积(被称为改善量)能够定义为(式10)这样。

[0299] [数学式16]

[0300] $$I(y_{new}) = \prod_{d=1}^{D} max\{y'_d - y_{new,d}, 0\} \qquad (式\ 10)$$

[0301] 在(式10)中,$y_{new,d}$表示新的特性点的维度d的坐标(第d分量),y'_d表示确定帕累托边界的观测到的特性点(帕累托点)的维度d的坐标(第d分量)。另外,在(式10)中,如果对于某维度d,$y_{new,d}$小于y'_d,则改善量(即$I(y_{new})$)成为非负实数,另一方面,如果对于某维度d,$y_{new,d}$为y'_d以上,则改善量(即$I(y_{new})$)不是负实数而成为0。

[0302] 并且,能够认为,通过这样算出的改善量的体积表示的改善量(即$I(y_{new})$)越大,得到从暂定的实验结果越大幅改善的特性点。

[0303] 另外,在本实施方式中,应用区域缩小规则的情况下的获得函数(即附带制约条件的EHVIC)与EHVI同样,对于各候选控制点,使用基于卡尔曼滤波器算出的预测分布来定义。更具体地,如(式7)那样,应用区域缩小规则的情况下的获得函数能够用取改善量的期待值而得到的量来定义。并且,通过取改善量的期待值而得到的量的值的大小,对接下来应执行的控制点的好坏进行评价。

[0304] 如以上那样,根据应用区域缩小规则的情况下的获得函数的算出方法,不需要进行未应用区域缩小规则的情况那样的向小区域的分割以及和计算,只要算出单一的D维超长方体的体积的期待值,就能够算出获得函数。由此,应用区域缩小规则的情况下的获得函数的计算量不依赖于帕累托点数N_{pareto},对于产品特性数D的增加,被抑制为多项式级的增加,因此能够保持搜索效率的同时实现高速的解析处理。

[0305] 此外,上述对在未设定标准范围的情况下应用的区域缩小规则进行了说明,但是并不限定于此。也可以设定标准范围,同样可应用区域缩小规则。

[0306] 图25是示出有制约条件的情况下的帕累托边界的一个例子的图。图26是示出在图25所示的帕累托边界的基础上有制约条件的情况下确定的改善区域的一个例子的图。

[0307] 图26与图23相比,设定有标准范围这点不同,其他相同。即,在图25中,示出了如图17所示进行区域分割且在由2维的产品特性构成的特性空间中设定有标准范围时算出的帕累托边界的一个例子。此外,在图25所示的例子中,也假设第1产品特性以及第2产品特性各自的最优化目的为最小化。

[0308] 在这样的情况下,由于在标准范围内确定了区域缩小规则,因此每当观测到新的特性点时,也以与上述同样的过程执行活动区域的缩小。即,评价值算出部12根据(式9),在区域d中包括的特性点之中,将由具有y_d坐标最小的坐标y'_d且位于标准范围内的特性点的坐标y'_d确定的边界算出为活动边界。

[0309] 于是,由于改善区域如图26那样确定,因此评价值算出部12能够使用(式7)以及(式8),算出获得函数的评价。

[0310] 以上的获得函数的算出方法是用于求出精确解的方法,如果能够如预测分布能够使用卡尔曼滤波器等用正态分布算出且改善区域是单一的矩形那样,解析地算出获得函数,则能够通过上述的方法进行算出。但是,在预测分布不是正态分布或者改善区域是复杂

的形状的情况下,有可能不能解析地算出获得函数。在这样的情况下,也可以使用蒙特卡罗法等来近似地算出获得函数。即使在该情况下,特性空间的向小区域的分割以及改善区域等也不会与上述的说明不同。

[0311] 此外,上述也说明了作为制约条件而设定有标准范围的情况,但是并不限定于此。不只是标准范围,也可以设定与该标准范围不同的范围。例如,在实务中也经常要求如下情况:在想要将特性点最低限度收敛于其中的标准范围之中,设定有想要使特性点尽可能地收敛于其中的管理范围。此外,标准范围以及管理范围分别是作为制约条件的制约范围的一个例子。

[0312] 图27是示出标准范围以及管理范围的一个例子的图。

[0313] 在图27所示的例子中,第1产品特性的标准范围为最小值“10”~最大值“50”,第2产品特性的标准范围为最小值“10”~最大值“50”。另外,第1产品特性的管理范围是比其标准范围窄的范围、即最小值“20”~最大值“40”,第2产品特性的管理范围是比其标准范围窄的范围、即最小值“20”~最大值“40”。这样,管理范围可以包括在标准范围内。

[0314] 在这样的情况下,评价值算出部12能够通过在(式8)中,进一步对1(yd,yd')设定处于0和1之间的例如0.5等中间的值来算出评价值。此外,0.5是一个例子,也可以是其他数值。

[0315] [输出]

[0316] 评价值输出部13获取表示通过评价值算出部12如上述那样算出的各候选控制点的评价值的评价值数据224,使显示部104显示该评价值数据224。此外,评价值输出部13既可以从评价值算出部12直接获取该评价值数据224,也可以通过读出由评价值算出部12存放在存储部105中的评价值数据224,获取该评价值数据224。

[0317] 图28是示出评价值数据224的一个例子的图。例如,如图28所示,评价值数据224表示各候选控制点的评价值及其次序。具体地,评价值数据224按每个控制点编号示出与该控制点编号对应的评价值和该评价值的次序。如图11A以及图11B所示,各控制点编号与候选控制点建立对应。因此,可以说评价值数据224按每个候选控制点示出了与该候选控制点对应的评价值和该评价值的次序。另外,评价值越大,次序表示越小的数值,相反地,评价值越小,次序表示越大的数值。

[0318] 在一个具体的例子中,如图28所示,评价值数据224表示与控制点编号“1”对应的评价值“0.00000”以及次序“23”、与控制点编号“2”对应的评价值“0.87682”以及次序“1”、与控制点编号“3”对应的评价值“0.62342”以及次序“4”等。

[0319] 图29是示出显示部104中显示的变更后的评价值数据224的一个例子的图。

[0320] 评价值输出部13也可以通过按评价值次序对评价值数据224进行排序等,变更该评价值数据224,将该变更后的评价值数据224显示在显示部104。

[0321] 例如,如图29所示,变更后的评价值数据224按每个评价值的次序表示与该次序相应的评价值、和与该评价值对应的候选控制点。另外,评价值的各次序按升序排列。也就是说,按评价值由大到小的顺序排列各候选控制点。例如,评价值数据224表示与次序“1”相应的评价值“0.87682”、和与该评价值对应的候选控制点(10,200)。进而,评价值数据224表示与次序“2”相应的评价值“0.87682”、和与该评价值对应的候选控制点(20,100)。

[0322] 通过这样的评价值数据224被显示在显示部104上,用户能够判断是继续执行最优

解的搜索还是结束最优解的搜索。进而,用户在继续执行最优解的搜索的情况下,能够基于所显示的各评价值以及各次序,从所显示的全部的控制点编号即全部的候选控制点,选择作为接下来的控制点的候选控制点。例如,用户选择与最大的评价值(即,次序为1的评价值)对应的候选控制点。此时,用户也可以通过进行针对输入部101a的输入操作,使评价值数据224的各评价值按由大到小的顺序重新排列。也就是说,评价值输出部13对它们进行排序,使得评价值数据224的各评价值为降序,各次序为升序。由此,能够易于找到最大的评价值。

[0323] [向时间序列数据的控制的应用例]

[0324] 接下来,说明向时间序列数据的控制的应用例。

[0325] 在量产现场,例如存在为了在量产生产线的运转重新开始时使产品特性尽早地稳定,想要实时地搜索最佳的工艺条件的设定值(控制点)这样的需求。这相当于考虑了时间序列性的最优解的搜索问题,能够求解为在各时刻下以过去的控制信息(关于由工艺条件设定值等确定的控制点的信息)为基础,获得下一时间点的最佳的对应关系(控制点和特性点)的问题。

[0326] 为此,在本实施方式中,使用由卡尔曼滤波器求出的预测分布和由贝叶斯最优化求出的评价函数,并使用能够一边在概率分布中考虑所有关系性(对应关系)一边进行评价的评价值,获得最佳的对应关系。

[0327] 图30是将由卡尔曼滤波器进行的预测分布的导出概念地示出的图。

[0328] 如图30所示,基于卡尔曼滤波器的状态推定概念上相当于在每个时刻(t-4、t-3、t-2、t-1、t),根据前1个时刻的观测值依次推定状态的预测分布的均值和方差。基于该预测分布的均值和方差,能够得到推定值。此外,依次推定状态的预测分布的均值和方差也能够解释为用前1个时刻的观测值进行修正。

[0329] 换言之,在本实施方式中,每当在每个时刻下得到控制结果即被用于控制中的1个以上的控制点和分别与该1个以上的控制点对应的特性点时,通过卡尔曼滤波器求出预测分布(的均值和方差)。并且,基于由贝叶斯最优化求出的评价函数,选择接下来设定的控制点。

[0330] 图31是将多个候选控制点的预测分布与产品特性的标准范围的关系概念地示出的图。图31的(a)中概念地示出了候选控制点A的预测分布,图31的(b)中概念地示出了候选控制点B的预测分布,图31的(c)中概念地示出了候选控制点C的预测分布。

[0331] 如图31所示,在候选控制点A、候选控制点B以及候选控制点C的预测分布(的均值以及方差)相同的情况下,从使产品特性尽早地稳定这种观点出发,预测分布的均值靠近标准中央为好。因此,在图31所示的候选控制点A、候选控制点B以及候选控制点C之中,可以将候选控制点B选择为接下来设定的控制点。

[0332] 也就是说,在贝叶斯最优化中,最优化目的为标准范围内的情况大致等价于以下控制:将标准中央设定为最优化目标值,如果前一个特性点(观测值)的位置比标准中央更靠上侧,则将最优化方法(最优化目的)切换为最小化,如果前一个特性点的位置比标准中央更靠下侧,则将最优化目的(最优化目的)切换为最大化。

[0333] <时间序列数据的控制方法1>

[0334] 图32A以及图32B是用于说明将本实施方式所涉及的最优化目标值设定在标准中

央的控制方法1的控制情形的图。此外,在图32A以及图32B中,为了使说明简洁,示出了产品特性数为1维的情况下的控制情形。

[0335] 最优化目的为标准范围内的情况能够解释为以下控制:将标准中央设定为最优化目标值,并且如果前一个特性点(观测值)的位置比标准中央更靠上侧,则将最优化方法(最优化目的)切换为最小化,如果前一个特性点的位置比标准中央更靠下侧,则将最优化目的(最优化目的)切换为最大化。以下将这样的控制方法称为时间序列数据的控制方法1。

[0336] 也就是说,如图32A以及图32B所示,在时间序列数据的控制方法1中,在最优化目的为标准范围内的情况下,标准中央被设定为最优化目标值。具体地,在图32A所示的例子中,由于前一个特性点y_t比标准中央更靠上侧,因此将最优化方法(最优化目的)设为最小化来进行控制即可。另一方面,在图32B所示的例子中,由于前一个特性点y_{t+1}比标准中央更靠下侧,因此将最优化方法(最优化目的)设为最大化来进行控制即可。

[0337] 这样,在时间序列数据的控制方法1中,将最优化目的为标准范围内解释为以下控制方法:最优化目标值为标准中央,并且最优化方法根据前一个特性点(观测点)的位置而切换为最大化或者最小化。

[0338] 图33是将过冲现象以及振荡现象概念地示出的图。图34是将作为卡尔曼滤波器的特性的噪声消除效果概念地示出的图。

[0339] 如果使用由卡尔曼滤波器求出的预测分布,根据上述的控制方法1的解释利用最优化目的为标准范围内的情况下的贝叶斯最优化进行控制,则基本上会良好地动作。但是,当进行控制方法1下的控制时,例如会产生如图33所示那样的观测值超出标准中央的过冲现象。这是因为,如图34所示,卡尔曼滤波器具有不会过度受观测值的变动影响地进行预测(推定预测分布)的特性即噪声消除效果。也就是说,当使用卡尔曼滤波器时,预测分布的行为容易被算出得比观测值的行为小。因此,在如控制方法1那样将标准中央设为最优化目标值来进行控制的情况下,即使观测值跨越标准中央之后,预测值也被判断为仍未跨越,预测值被算出为维持原样地暂时继续上升或者下降。并且,按照在预测值跨越了标准中央时才进行预测值的轨道修正的方式进行算出。

[0340] <时间序列数据的控制方法2>

[0341] 为了抑制时间序列数据的控制方法1中产生的过冲现象,使用作为将最优化目的为标准范围内的情况下的解释改变的次优策略的控制方法2。即,在时间序列数据的控制方法2中,在最优化目的为标准范围内的情况下,也可以进行在前一个特性点(观测值)比标准中央更靠上侧时将最优化目标值设定为标准下限值,在前一个特性点(观测值)比标准中央更靠下侧时将最优化目标值设定为标准上限值的控制。此外,关于最优化方法(最优化目的),与控制方法1同样,进行以下控制即可:如果前一个特性点(观测值)的位置比标准中央更靠上侧则将最优化方法(最优化目的)切换为最小化,如果前一个特性点的位置比标准中央更靠下侧则将最优化目的(最优化目的)切换为最大化。

[0342] 图35A以及图35B是用于说明将本实施方式所涉及的最优化目标值设定为标准上下限的控制方法2的控制情形的图。此外,为了使说明简洁,图35A以及图35B也示出了产品特性数为1维的情况下的控制情形。

[0343] 在时间序列数据的控制方法2中,最优化目的为标准范围内,如图35A所示的例子,在前一个特性点y_t比标准中央更靠上侧的情况下,将标准下限设定为最优化目标值来进行

控制。另一方面,如图35B所示,在前一个特性点y_{t+1}比标准中央更靠下侧的情况下,将标准上限设定为最优化目标值来进行控制。

[0344] 这样,在时间序列数据的控制方法2中,将最优化目的为标准范围内解释为以下控制方法:最优化目标值根据前一个特性点(观测点)的位置而被切换为标准上限值或者标准下限值。进而,在时间序列数据的控制方法2中,最优化目的为标准范围内的情况解释为以下控制方法:最优化方法根据前一个特性点(观测点)的位置而被切换为最大化或者最小化。

[0345] 由此,在控制方法2中,与按照在预测值跨越了标准中央时才进行预测值的轨道修正的方式进行算出的控制方法1相比,由于预测值的轨道修正的时机提前,因此能够抑制过冲现象。

[0346] 然而,当进行控制方法2下的控制时,例如容易产生如图33所示那样的观测值在标准中央附近振动的振荡现象。这是因为,当进行控制方法2下的控制时,由于最优化目标值被设定在远离标准中央的标准下限值或者标准上限值的位置,因此始终容易从多个候选控制点之中将特性点急剧上升或者下降那样的候选控制点选择为接下来设定的控制点。

[0347] <时间序列数据的控制方法3>

[0348] 在最优化目的为标准范围内的情况下,当如控制方法1那样将最优化目标值设定为标准中央时产生过冲现象,当如控制方法2那样将最优化目标值设定为标准上下限时产生振荡现象。为此,期待通过进行将最优化目标值的初始值设定为标准上下限,根据以下说明的规则,将最优化目标值逐渐向标准中央移动的控制方法3,能够抑制过冲现象以及振荡现象。也就是说,在时间序列数据的控制方法3中,在最优化目的为标准范围内的情况下,一边使最优化目标值从标准上下限值靠近标准中央,一边进行将最优化方法(最优化目的)根据前一个特性值的位置切换为最大化或者最小化的控制。

[0349] 图36A以及图36B是用于说明将本实施方式所涉及的最优化目标值逐渐向标准中央移动的控制方法3的控制情形的图。此外,为了使说明简洁,图36A以及图36B也示出了产品特性数为1维的情况下的控制情形。

[0350] 在时间序列数据的控制方法3中,在最优化目的为标准范围内的情况下,一边使最优化目标值逐渐向标准中央移动一边进行控制。例如,如图36A所示,在前一个特性点y_t比标准中央更靠上侧、且在过去的控制中特性点y_{t-4}在标准范围内是极小值的情况下,将该极小值设定为最优化目标值来进行控制。此外,由于前一个特性点y_t比标准中央更靠上侧,因此最优化方法(最优化目的)被控制为最小化。另一方面,如图36B所示的例子,在前一个特性点y_{t+1}比标准中央更靠下侧、且在过去的控制中特性点y_{t-1}在标准范围内是极大值的情况下,将该极大值设定为最优化目标值来进行控制即可。此外,由于前一个特性点y_{t+1}比标准中央更靠下侧,因此最优化方法(最优化目的)被控制为最大化。

[0351] 以下,对使最优化目标值向标准中央移动的方法进行说明。

[0352] 作为最简单的想法,具有以下方法:将从标准上下限到标准中央的距离等分割,按每个时刻来以恒定的速度移动。但是,对于该方法,需要解析人员来决定分割数也就是移动的速度。若使最优化目标值移动的速度过快,则大致等价于从最开始就将最优化目标值设定为标准中央的情况,因此容易产生过冲现象。相反地,若使最优化目标值移动的速度过慢,则大致等价于从最开始就将最优化目标值设定为标准上下限的情况,因此容易产生振

荡现象。因此,会产生解析人员必须选择同时抑制过冲现象以及振荡现象的分割数这样的课题。另外,同时抑制过冲现象以及振荡现象的分割数根据对象的任务而多种多样,产生由解析人员进行的试错,因此不现实。

[0353] 与之相对地,在上述的控制方法3中,如果特性点的推移从上升转为下降,则将极大点设定为接下来上升时的最优化目标值,相反地,如果特性点的推移从下降转为上升,则将极小点设定为接下来下降时的最优化目标值。这样,当进行控制方法3下的控制时,不会产生依赖于解析人员的作业,能够抑制过冲现象以及振荡现象。

[0354] ＜活用EHVIC的控制方法3＞

[0355] 在上述的控制方法3中,初始阶段的极大点或者极小点的位置接近标准中央的情况大致等价于从最开始就将最优化目标值设定为标准中央的情况。因此,在初始阶段的极大点或者极小点的位置接近标准中央的情况下,有可能产生过冲现象。

[0356] 为此,在时间序列数据的控制方法3中活用作为贝叶斯最优化的获得函数的EHVIC的构思。此外,以下,以产品特性数为2维以上的情况下的控制举例进行说明。

[0357] 在EHVIC的构思中,在将多个产品特性同时最大化或者最小化时,将应进行评价的特性空间内的区域分区化,使得以观测完毕的帕累托点为基础高效地进行最优解的搜索。例如,在具有2个产品特性时,即使获得一个产品特性极端接近最优化目标值的特性点,也不是以该值遍及特性空间整个区域地进行分区化,而是以所有帕累托点的坐标来分阶段地分区化。也可以活用该EHVIC的构思而在时间序列数据的控制方法3中抑制最优化目标值从作为初始值的标准上下限向标准中央急剧移动的情况。

[0358] 但是,如上所述,EHVIC具有根据产品特性数而计算成本呈指数函数地增大这样的问题。为此,通过利用作为使活动区域缩小的规则的区域缩小规则,能够保持搜索精度的同时将计算成本削减至多项式函数级。

[0359] 此外,在产品特性数为2维以上的情况下,如果维持原样地应用上述的区域缩小规则,则不能唯一地决定最优化目标值。因此,以下,对产品特性数为2维以上的情况下,即使应用上述的区域缩小规则也能够唯一地决定最优化目标值的方法进行说明。

[0360] 图37是用于说明在产品特性数为2维以上的情况下存在多个最优化目标值的候选的图。

[0361] 在产品特性数为D维的情况下,对于各产品特性,通过分为比标准中央更靠上侧以及更靠下侧,特性空间整体能够分割为2^D个分割区域。在各个分割区域中,应用区域缩小规则,对于各产品特性,将相反侧的帕累托边界设定为最优化目标值。图37中示出了产品特性数为2维的情况下的4个分割区域。另外,图37中示出了根据分别存在于4个分割区域中的观测完毕特性点而算出的帕累托边界和活动区域。此外,图37所示的帕累托边界是未唯一地确定最优化目标值的暂定的帕累托边界,因此以下称为暂定帕累托边界。另外,以下,将基于暂定帕累托边界的活动区域称为暂定活动区域。进而,将不是暂定的帕累托边界称为结合帕累托边界,将基于结合帕累托边界的活动区域称为结合活动区域。

[0362] 例如,在第1产品特性(Y_1)中的前一个特性点位于比标准中央更靠上侧的位置的情况下应用区域缩小规则时,在第1产品特性(Y_1)中,最优化方法(最优化目的)决定为最小化,最优化目标值根据比标准中央更靠下侧的区域中存在的帕累托边界来确定即可。但是,例如,如图37所示,在第1产品特性(Y_1)中具有由A和B这2种表示的暂定帕累托边界的情况

下,成为最优化目标值的候选存在2个。在该情况下,可以将由A和B表示的暂定帕累托边界之中更靠近标准中央的一方(A的暂定帕累托边界)、更远离标准中央的一方(B的暂定帕累托边界)或者它们的中间的位置的边界等确定为结合帕累托边界。此外,在第2产品特性(Y_2)中可以说是同样的,因此省略说明。

[0363] 图38A是示出中心与标准中央不一致的情况下的结合活动区域的图。图38B是示出中心与标准中央一致的情况下的结合活动区域的图。

[0364] 另外,在图37所示的例子中,在比第1产品特性(Y_1)的标准中央更靠上侧以及更靠下侧、比第2产品特性(Y_2)的标准中央更靠上侧以及更靠下侧,不独立地确定结合帕累托边界为好。这是由于,如图38A所示,基于独立地确定的结合帕累托边界的结合活动区域成为单一的矩形,但其中心很有可能成为与标准中央不同的位置。另外,在结合活动区域的中心成为与标准中央不同的位置的情况下用控制方法3执行时间序列数据的控制时,按照使得观测值朝向结合活动区域的中央被逼近的方式进行控制。因此,很可能与本来的对象(最优化目标值)即标准中央偏离地进行了控制。

[0365] 鉴于此,在活用本实施方式的EHVIC的控制方法3中,在比标准中央更靠上侧的区域和更靠下侧的区域中一致而唯一地确定各产品特性中的结合帕累托边界。例如,在图37所示的例子中,在第1产品特性(Y_1)中,对于存在于比标准中央更靠上侧的区域的2个暂定帕累托边界、以及存在于比标准中央更靠下侧的区域的2个暂定帕累托边界的共计4个Y_1坐标,将比标准中央大中间值的Y_1坐标确定为上侧的区域的结合帕累托边界即可,该中间值是距标准中央的距离的均值等。同样地,将比标准中央小该中间值的Y_1坐标确定为下侧的区域的结合帕累托边界即可。这样,上侧的区域的结合帕累托边界和下侧的区域的结合帕累托边界被确定为距第1产品特性(Y_1)的标准中央为等距离。在第2产品特性(Y_2)中也同样,因此省略说明。

[0366] 这样,如图38B所示,通过在比标准中央更靠上侧的区域和更靠下侧的区域中一致地确定结合帕累托边界,能够使基于确定出的结合帕累托边界的结合活动区域成为单一的矩形,并使其中心与标准中央一致。

[0367] 此外,作为在比标准中央更靠上侧的区域和更靠下侧的区域中一致地确定结合帕累托边界的方法,并不限定于使用多个暂定帕累托边界的Y_1坐标的中间位置的情况,也可以确定为以下的结合帕累托边界:穿过成为距标准中央的距离为最近值或者最远值的位置。在确定为穿过成为最近值的位置(Y_1坐标)的结合帕累托边界的情况下,容易产生过冲现象,在确定为穿过成为最远值的位置(Y_1坐标)的结合帕累托边界的情况下,容易产生振荡现象。因此,如果没有特别的理由,则确定为穿过成为上述中间的值的位置的结合帕累托边界即可。

[0368] 如以上那样,仅简单地组合卡尔曼滤波器和贝叶斯最优化,会产生过冲现象。为此,通过进行时间序列数据的控制方法3,将最优化目标值的初始值设定为标准上下限,并且通过使其逐渐向标准中央靠近,也能够抑制振荡现象。另外,根据时间序列数据的控制方法3,为了候选控制点的定量评价,利用贝叶斯最优化的获得函数,进一步应用区域缩小规则,由此能够实现抑制了计算成本的高速化算法。

[0369] 这样,通过依次算出由卡尔曼滤波器求出的预测分布、和根据预测分布而使用贝叶斯最优化求出的评价值,将接下来设定的候选控制点按排序顺序等提供给解析人员(用

户),并进行选择。因此,由于能够不依赖于解析人员且定量地评价能够抑制过冲现象或者振荡现象的产生的候选控制点,从而能够抑制过冲现象或者振荡现象的产生,实现稳定且高效的时间序列数据的实时控制。

[0370] [效果等]

[0371] 如以上那样,本实施方式中的评价装置基于与第1时刻下的控制完毕的控制点对应的已知的特性点,通过贝叶斯最优化来评价与所述第1时刻之后的第2时刻下的多个候选控制点对应的多个未知的特性点,所述评价装置具备:第1接收单元,获取控制结果数据,所述控制结果数据表示所述第1时刻下的控制完毕的控制点以及所述第1时刻下的已知的特性点;第2接收单元,获取目的数据,所述未知的特性点表示1个或者多个产品特性的值,至少1个产品特性具有最优化目的,所述目的数据表示该最优化目的;第3接收单元,获取制约条件数据,所述制约条件数据表示针对所述至少1个产品特性赋予的制约条件;第4接收单元,获取区域缩小规则数据,所述区域缩小规则数据表示通过至少1个产品特性表现的特性空间的分割方法,并且按通过所述分割方法进行了分割的特性空间的每个区域来表示将活动区域缩小的维度;算出单元,基于所述控制结果数据、所述目的数据、所述制约条件数据以及所述区域缩小规则数据,算出所述多个未知的特性点各自的评价值;和输出单元,输出所述评价值,所述算出单元将与所述制约条件的符合程度相应的权重,赋予给针对所述至少1个产品特性的评价值。

[0372] 由此,算出单元能够基于控制结果数据、目的数据、制约条件数据以及区域缩小规则数据,算出第1时刻之后的第2时刻下的多个未知的特性点的评价值。在算出多个未知的特性点的评价值时,将与制约条件的符合程度相应的权重赋予给针对至少1个产品特性的评价值,该至少1个产品特性具有最优化目的。因此,针对对于具有最优化问题的目的的时间序列的产品特性赋予了制约条件的最优化问题,能够应用卡尔曼滤波器和贝叶斯最优化。这样,由于能够根据与作为过去的控制结果信息的第1时刻下的控制完毕的控制点对应的已知的特性点,算出多个未知的特性点的评价值,因此能够定量地解析接下来应设定的候选控制点。

[0373] 另外,在本实施方式中,制约条件为标准范围,在最优化目的中,存在将产品特性收敛于标准范围内的第1目的、和将产品特性最小化或者最大化的第2目的。并且,评价值算出部12针对至少1个产品特性的每一个产品特性在以下情况下进行相互不同的加权处理来算出评价值:(i)用于算出评价值的该产品特性的区间位于标准范围外的情况;(ii)该区间为标准范围内且最优化目的为第1目的的情况;和(iii)该区间为标准范围内且最优化目的为第2目的的情况。也就是说,基于上述(式6)以及(式7)来算出评价值。由此,不论产品特性的最优化目的是第1目的还是第2目的,都能够基于贝叶斯最优化来恰当地算出候选控制点的评价值。也就是说,不论产品特性的最优化目的是标准范围内还是最大化或者最小化,都能够基于贝叶斯最优化来恰当地算出候选控制点的评价值。另外,在(iii)的情况下,由于产品特性的区间为标准范围内且最优化目的为第2目的,因此与非专利文献2的手法不同,即使是在最优化目的为最大化或者最小化的产品特性中作为制约条件而具有标准范围的情况下,也能够定量且恰当地算出评价值。

[0374] 其结果,也能够应用于具有标准范围等制约条件的最优化问题中。也就是说,能够扩展应用场景,进行用于提高最优解的搜索效率的定量评价。

[0375] 另外,所述算出单元也可以使用卡尔曼滤波器来算出所述多个候选控制点下的预测分布,使用算出的所述预测分布,算出所述评价值。

[0376] 由此,能够依次算出由卡尔曼滤波器求出的预测分布、和根据预测分布使用贝叶斯最优化求出的评价值。因此,能够基于评价值选择接下来设定为控制点的候选控制点。也就是说,由于针对各候选控制点算出的评价值被输出,因此评价装置的用户能够基于这些评价值将候选控制点选择为接下来的控制点,将通过使用该控制点的控制而得到的特性点用于接下来的各候选控制点的评价值的算出。通过反复进行这样的控制和评价值的算出以及输出,能够得到满足各产品特性的最优化目的的候选控制点的解,即最优解。

[0377] 另外,在获得函数的算出中,通过某种规则来根据帕累托点确定帕累托边界,根据该帕累托边界而特性空间整体被划分为活动区域以及非活动区域。因此,由于算出单元能够进一步基于区域缩小规则数据,变更帕累托边界的定义,因此仅通过单一的超长方体的体积的期待值的算出,就能够算出贝叶斯最优化中的获得函数。由此,算出单元由于能够保持搜索效率的同时抑制获得函数的计算量,因此能够高速地进行未知的特性点的评价。

[0378] 另外,评价值算出部12也可以使用蒙特卡罗法来算出各候选控制点的评价值。由此,由于蒙特卡罗法是近似手法,因此即使在难以解析地算出评价值的情况下,也能够近似地算出。也就是说,不严格进行(式6)以及(式7)的运算,通过使用蒙特卡罗法,能够近似地算出。此外,只要是近似手法,则并不限定于蒙特卡罗法,也可以使用其他手法。

[0379] (实施例)

[0380] 作为对上述的控制方法3应用区域缩小规则来进行产品特性的最优解的搜索时的处理的实施例,对在追加了一组控制结果时根据区域缩小规则来确定活动区域的处理的一个例子进行说明。

[0381] 图39是示出在进行本实施方式的实施例所涉及的最优解的搜索时得到的控制结果数据表的一个例子的图。图40A是示出得到图39的第26个为止的控制结果的时间点下的结合活动区域的图。图40B是示出得到图39的第27个控制结果的时间点下的结合活动区域的图。此外,使用卡尔曼滤波器的预测分布的算出处理以及使用EHVI以及EHVIC的获得函数的算出处理如上所述,因此省略说明。另外,在图40A以及图40B中,省略标准外的特性点。

[0382] 图39按每个控制编号示出了通过该控制编号识别的控制中使用的控制点的工艺条件、和作为通过该控制得到的控制结果的特性点的产品特性。另外,图39中示出了工艺条件的数量为2个(第1工艺条件、第2工艺条件)、并且产品特性的数量为2个(第1产品特性、第2产品特性2)的情况。对于最优化目的,第1产品特性(Y_1)和第2产品特性(Y_2)均为最小化,将第1产品特性(Y_1)的标准范围设为1.1~1.7,将第2产品特性(Y_2)的标准范围设为0.5~0.7。另外,结合活动区域的初始值设为标准范围,也就是说,结合帕累托边界的初始值设为各维的标准上下限。本实施例中的标准范围能够如(式11)那样标记。另外,图40A以及图40B中的应用区域缩小规则的区域(区域$R_{1\text{-}1}$~区域$R_{4\text{-}2}$)如(式12)那样确定。

[0383] [数学式17]

[0384] $$R = R_{1-1} \cup R_{1-2} \cup R_{2-1} \cup R_{2-2} \cup R_{3-1} \cup R_{3-2} \cup R_{4-1} \cup R_{4-2} \qquad (式\ 11)$$

[0385] [数学式18]

[0386]
$$
\begin{aligned}
&\text{区域}1-1{:}R_{1-1}=\{y\in\mathbb{R}^2|1.4\leqslant y_1\leqslant 1.7,0.6\leqslant y_2\leqslant 0.7,|y_1-1.4|\geqslant|y_2-0.6|\}\\
&\text{区域}1-2{:}R_{1-2}=\{y\in\mathbb{R}^2|1.4\leqslant y_1\leqslant 1.7,0.6\leqslant y_2\leqslant 0.7,|y_1-1.4|<|y_2-0.6|\}\\
&\text{区域}2-1{:}R_{2-1}=\{y\in\mathbb{R}^2|1.4\leqslant y_1\leqslant 1.7,0.5\leqslant y_2\leqslant 0.6,|y_1-1.4|\geqslant|y_2-0.6|\}\\
&\text{区域}2-2{:}R_{2-2}=\{y\in\mathbb{R}^2|1.4\leqslant y_1\leqslant 1.7,0.5\leqslant y_2\leqslant 0.6,|y_1-1.4|<|y_2-0.6|\}\\
&\text{区域}3-1{:}R_{3-1}=\{y\in\mathbb{R}^2|1.1\leqslant y_1\leqslant 1.4,0.5\leqslant y_2\leqslant 0.6,|y_1-1.4|\geqslant|y_2-0.6|\}\\
&\text{区域}3-2{:}R_{3-2}=\{y\in\mathbb{R}^2|1.1\leqslant y_1\leqslant 1.4,0.5\leqslant y_2\leqslant 0.6,|y_1-1.4|<|y_2-0.6|\}\\
&\text{区域}4-1{:}R_{4-1}=\{y\in\mathbb{R}^2|1.1\leqslant y_1\leqslant 1.4,0.6\leqslant y_2\leqslant 0.7,|y_1-1.4|\geqslant|y_2-0.6|\}\\
&\text{区域}4-2{:}R_{4-2}=\{y\in\mathbb{R}^2|1.1\leqslant y_1\leqslant 1.4,0.6\leqslant y_2\leqslant 0.7,|y_1-1.4|<|y_2-0.6|\}
\end{aligned}
$$

(式 12)

[0387] 在区域R_{1-1}以及区域R_{2-1}中,将各区域内的特性点之中第1产品特性(Y_1)的坐标的最小值设为暂定帕累托边界。在区域R_{3-1}以及区域R_{4-1}中,将各区域内的特性点之中第1产品特性(Y_1)的坐标的最大值设为暂定帕累托边界。在区域R_{1-2}以及区域R_{4-2}中,将各区域内的特性点之中第2产品特性(Y_2)的坐标的最小值设为暂定帕累托边界。在区域R_{2-2}以及区域R_{3-2}中,将各区域内的特性点之中第2产品特性(Y_2)的坐标的最大值设为暂定帕累托边界。

[0388] 另外,对于各维,将穿过从标准中央分离了暂定帕累托边界距标准中央的距离的均值的坐标的边界设为结合帕累托边界,将由此确定的矩形区域确定为结合活动区域。另外,以下,将第1产品特性(Y_1)中的坐标称为Y_1坐标,将第2产品特性(Y_2)中的坐标称为Y_2坐标。

[0389] 首先,假设在图39所示的控制结果数据中,提供了控制编号到第26个为止的控制结果。该时间点下的结合活动区域成为图40A所示的结合活动区域。

[0390] 图40A所示的特性点A、B、C、D、E、F、G是图40A所示的区域R_{1-1}、区域R_{1-2}、区域R_{2-1}、区域R_{2-2}、区域R_{3-1}、区域R_{3-2}、区域R_{4-1}中的帕累托点。此外,在图40A所示的例子中,在区域R_{4-2}中没有帕累托点。另外,在图40A所示的例子中,第1产品特性(Y_1)的结合帕累托边界成为以下位置:穿过从标准中央分离了特性点A、C、E、G的Y_1坐标与第1产品特性(Y_1)中的标准中央的距离的均值的Y_1坐标。第2产品特性(Y_2)的结合帕累托边界成为以下位置:穿过从标准中央分离了特性点B、D、F的Y_2坐标和第2产品特性(Y_2)中的标准上限值与第2产品特性(Y_2)中的标准中央的距离的均值的Y_2坐标。

[0391] 具体地,图40A所示的结合活动区域的第1产品特性(Y_1)中的上限和下限如下所示。即,第1产品特性(Y_1)的上限成为从标准中央将特性点A、C、E、G的Y_1坐标(1.4256、1.4181、1.3791、1.3927)与标准中央(1.4000)的距离的均值(0.017975)相加而得到的Y_1坐标(1.417975)。另外,第1产品特性(Y_1)的下限成为从标准中央减去特性点A、C、E、G的Y_1坐标(1.4256、1.4181、1.3791、1.3927)与标准中央(1.4000)的距离的均值(0.017975)而得到的Y_1坐标(1.382025)。另外,图40A所示的结合活动区域的第2产品特性(Y_2)中的上限和下限如以下所示。即,第2产品特性(Y_2)的上限成为从标准中央将特性点B、D、F的Y_2坐标(0.6173、0.5790、0.5239)以及标准上限值(0.7)与标准中央(0.6000)的距离的均值(0.053600)相加而得到的Y_2坐标(0.653600)。另外,第2产品特性(Y_2)的下限成为从标准中央减去特性点B、D、F的Y_2坐标(0.6173、0.5790、0.5239)以及标准下限值(0.5)与标准中央(0.6000)的距离的均值(0.053600)而得到的Y_2坐标(0.546400)。

[0392] 如图39所示,成为最近的控制编号为第26个的特性点为标准范围内,属于区域

R_{2-1}。此外,控制编号为第26个的特性点在图40A中相当于特性点C,位于在第1产品特性(Y_1)中比标准中央更靠上侧、且在第2产品特性(Y_2)中比标准中央更靠下侧的位置。因此,第1产品特性(Y_1)以及第2产品特性(Y_2)中的最优化方法(最优化目的)被设定为最小化以及最大化。另外,第1产品特性(Y_1)中的最优化目标值被设定为结合活动区域的第1产品特性(Y_1)的下限的坐标(1.382025)。第2产品特性(Y_2)中的最优化目标值被设定为结合活动区域的第2产品特性(Y_2)的上限的坐标(0.653600)。

[0393] 接下来,评价值算出部12以控制编号到第26个为止的控制结果为基础,使用(式5)等卡尔曼滤波器的更新式,按每个候选控制点来算出第27个特性点的预测分布。评价值算出部12使用所算出的预测分布和(式7)等贝叶斯最优化的更新式,按每个候选控制点来算出获得函数。从所算出的获得函数得到的评价值为最大的候选控制点被用作第27个控制点。

[0394] 接下来,在图39所示的控制结果数据中,当得到控制编号为第27个的控制结果时,执行同样的处理。该时间点下的结合活动区域成为图40B所示的结合活动区域。

[0395] 如图39所示,成为最近的控制编号为第27个的特性点在标准范围内,属于区域R_{4-2}。控制编号为第27个的特性点在图40B中相当于特性点H,成为属于区域R_{4-2}的新的帕累托点。因此,即使在区域R_{4-2}中削减了活动区域,由于结合活动区域的第1产品特性(Y_1)中的上下限未变化,因此未被更新,结合活动区域的第2产品特性(Y_2)中的上下限被更新。第2产品特性(Y_2)中的上限成为从标准中央将特性点B、D、F、H的Y_2坐标(0.6173、0.5790、0.5239、0.6074)与标准中央(0.6000)的距离的均值(0.030450)相加而得到的Y_2坐标(0.630450)。第2产品特性(Y_2)中的下限成为从标准中央减去特性点B、D、F、H的Y_2坐标(0.6173、0.5790、0.5239、0.6074)与标准中央(0.6000)的距离的均值(0.030450)而得到的Y_2坐标(0.569550)。

[0396] 此外,控制编号为第27个的特性点在图40B中相当于特性点H,位于在第1产品特性(Y_1)中比标准中央更靠下侧、且在第2产品特性(Y_2)中比标准中央更靠上侧的位置。

[0397] 因此,第1产品特性(Y_1)以及第2产品特性(Y_2)中的最优化方法(最优化目的)被设定为最大化以及最小化。另外,第1产品特性(Y_1)中的最优化目标值被设定为结合活动区域的第1产品特性(Y_1)的上限的坐标(1.417975)。第2产品特性(Y_2)中的最优化目标值被设定为结合活动区域的第2产品特性(Y_2)的下限的坐标(0.569550)。

[0398] 评价值算出部12以控制编号到第27个为止的控制结果为基础,使用(式5)等卡尔曼滤波器的更新式,按每个候选控制点来算出第28个特性点的预测分布。评价值算出部12使用所算出的预测分布和(式7)等贝叶斯最优化的更新式,按每个候选控制点来算出获得函数。从所算出的获得函数得到的评价值为最大的候选控制点被用作第28个控制点。

[0399] 每当追加一组控制结果时,进行以上那样的处理,由此进行使最优化目标值从作为初始值的标准上下限逐渐向标准中央移动的控制方法3。由此,在时间序列数据的控制中能够进行不依赖于人的高精度且高效率的控制。

[0400] 以上,基于上述实施方式以及各变形例对本公开的一方式所涉及的评价装置100进行了说明,但是本公开并不限定于该实施方式以及各变形例。只要未脱离本公开的主旨,则将本领域技术人员想到的各种变形施加于上述实施方式或者各变形例的方案也包括在本公开中。

[0401] 此外,在上述实施方式等中,各结构要素可以由专用的硬件构成,也可以通过执行适于各结构要素的软件程序来实现。各结构要素也可以通过CPU或者处理器等程序执行部读出硬盘或者半导体存储器等记录介质中所记录的软件程序并执行来实现。在此,实现上述实施方式等的评价装置等的软件例如是使计算机执行图10所示的流程图的各步骤的程序。

[0402] 此外,以下这样的情况也包括在本公开中。

[0403] (1)上述的至少1个装置具体地是由微处理器、ROM(Read Only Memory:只读存储器)、RAM(Random Access Memory:随机存取存储器)、硬盘单元、显示器单元、键盘、鼠标等构成的计算机系统。在其RAM或者硬盘单元中存储有计算机程序。微处理器按照计算机程序进行动作,从而上述的至少1个装置达成其功能。在此,为了达成给定的功能,计算机程序将表示针对计算机的指令的命令代码组合多个而构成。

[0404] (2)构成上述的至少1个装置的结构要素的一部分或者全部也可以由1个系统LSI(Large Scale Integration:大规模集成电路)构成。系统LSI是将多个结构部集成在1个芯片上而制造出的超多功能LSI,具体地,是包括微处理器、ROM、RAM等而构成的计算机系统。在上述RAM中存储有计算机程序。微处理器按照计算机程序进行动作,从而系统LSI达成其功能。

[0405] (3)构成上述的至少1个装置的结构要素的一部分或者全部也可以由能够相对于该装置进行装卸的IC卡或者单体模块构成。IC卡或者模块是由微处理器、ROM、RAM等构成的计算机系统。IC卡或者模块也可以包括上述的超多功能LSI。微处理器按照计算机程序进行动作,从而IC卡或者模块达成其功能。该IC卡或者该模块也可以具有防篡改性。

[0406] (4)本公开也可以是上述所示的方法。另外,既可以是由计算机实现这些方法的计算机程序,也可以是由计算机程序构成的数字信号。

[0407] 另外,本公开也可以记录在能够由计算机读取计算机程序或者数字信号的记录介质、例如软盘、硬盘、CD(Compact Disc)-ROM、DVD、DVD-ROM、DVD-RAM、BD(Blu-ray(注册商标) Disc)、半导体存储器等中。另外,也可以是这些记录介质中记录的数字信号。

[0408] 另外,本公开也可以经由电通信线路、无线或有线通信线路、以因特网为代表的网络、数据广播等来传输计算机程序或者数字信号。

[0409] 另外,也可以通过将程序或者数字信号记录在记录介质中并传送,或者通过经由网络等来传送程序或者数字信号,从而由独立的其他计算机系统实施。

[0410] 根据本公开的评价装置,能够针对时间序列数据的控制问题,定量地评价能够抑制过冲现象或者振荡现象的候选控制点。

[0411] 产业上的可利用性

[0412] 本公开的评价装置即使在产品特性中具有基于标准范围的制约条件的情况下,也起到能够定量地高效搜索最佳工艺条件这样的效果,并不限定于工业产品的量产现场,也能够应用于空间模拟、动态物体的轨道控制等的最佳控制的用途中。

[0413] 符号说明

[0414]	10	接收控制部
[0415]	11	候选控制点创建部
[0416]	12	评价值算出部

[0417]	13	评价值输出部
[0418]	100	评价装置
[0419]	101a	输入部
[0420]	101b	通信部
[0421]	102	运算电路
[0422]	103	存储器
[0423]	104	显示部
[0424]	105	存储部
[0425]	200	程序
[0426]	201	特性点数据
[0427]	210	设定信息
[0428]	211	工艺条件数据
[0429]	212	目的数据
[0430]	213	制约条件数据
[0431]	214	区域缩小规则数据
[0432]	221	候选控制点数据
[0433]	222	控制结果数据
[0434]	223	预测分布数据
[0435]	224	评价值数据
[0436]	300	受理图像
[0437]	310	工艺条件区域
[0438]	311～314、321～328	输入字段
[0439]	320	产品特性区域
[0440]	330	区域缩小规则区域。

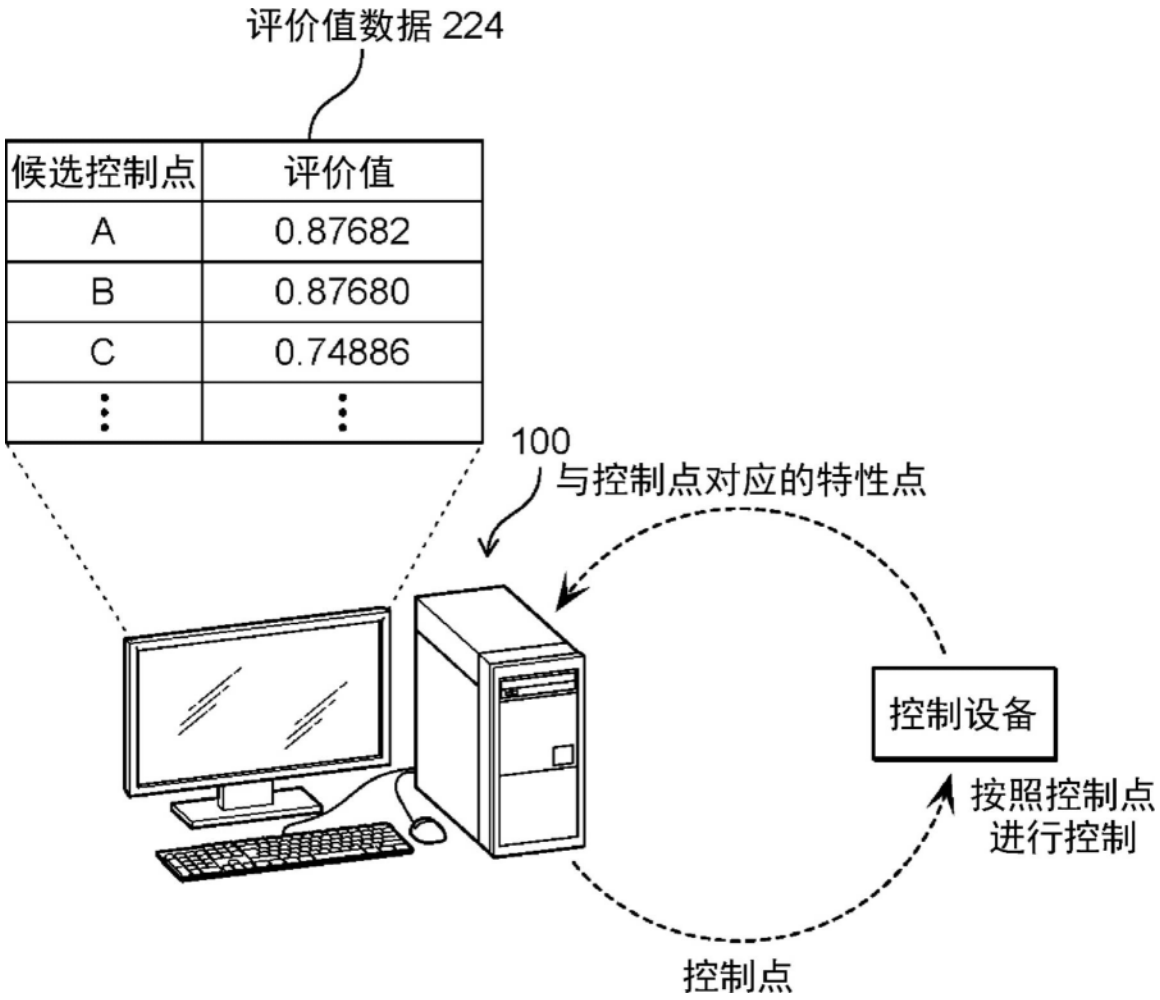

评价值数据 224
候选控制点
评价值
A
0.87682
B
0.87680
C
0.74886
100
与控制点对应的特性点
控制设备
按照控制点
进行控制
控制点

图1

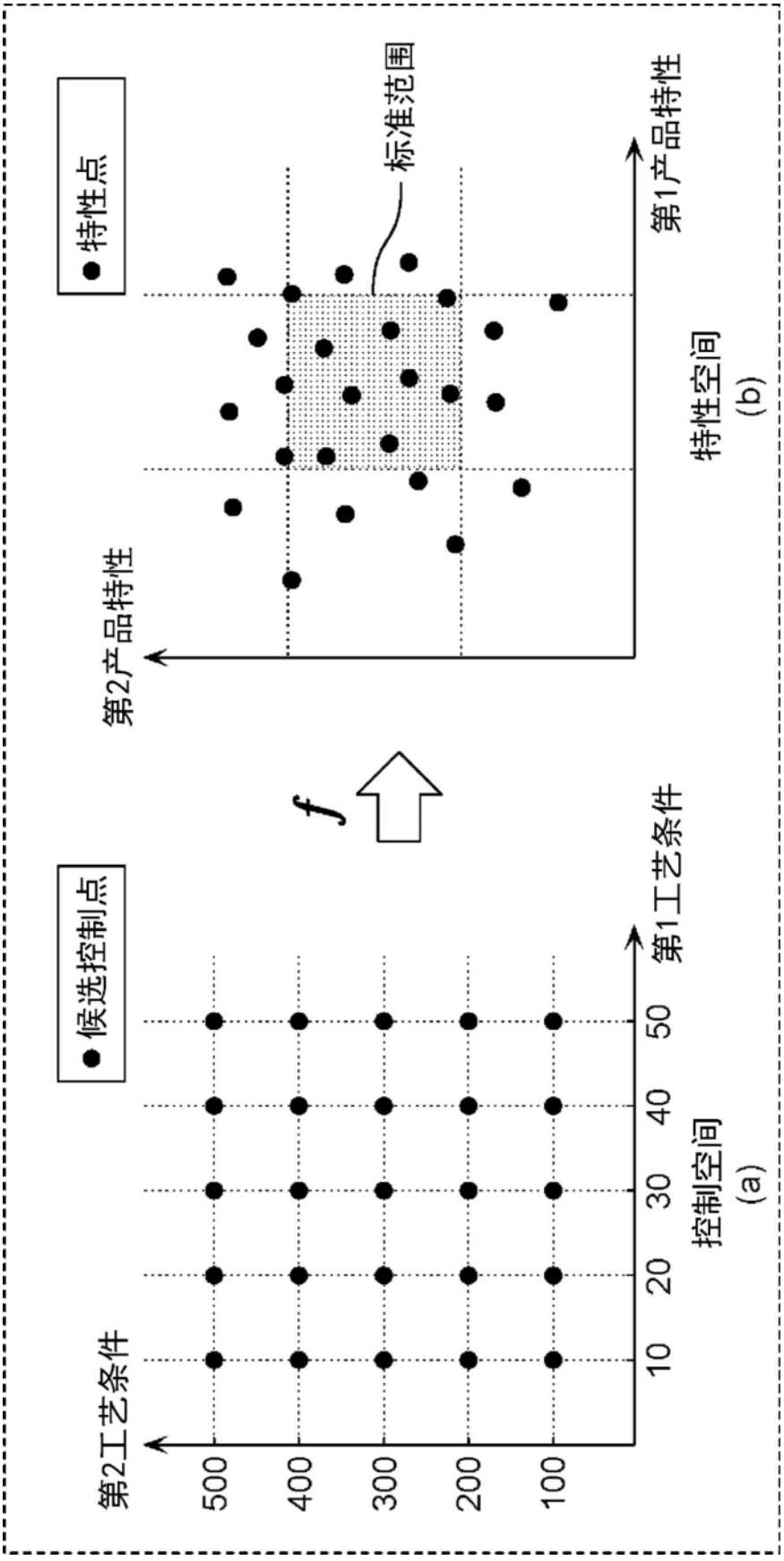

● 特性点
标准范围
第1产品特性
第2产品特性
特性空间
(b)
f
● 候选控制点
第1工艺条件
第2工艺条件
控制空间
(a)
10
20
30
40
50
100
200
300
400
500

图2

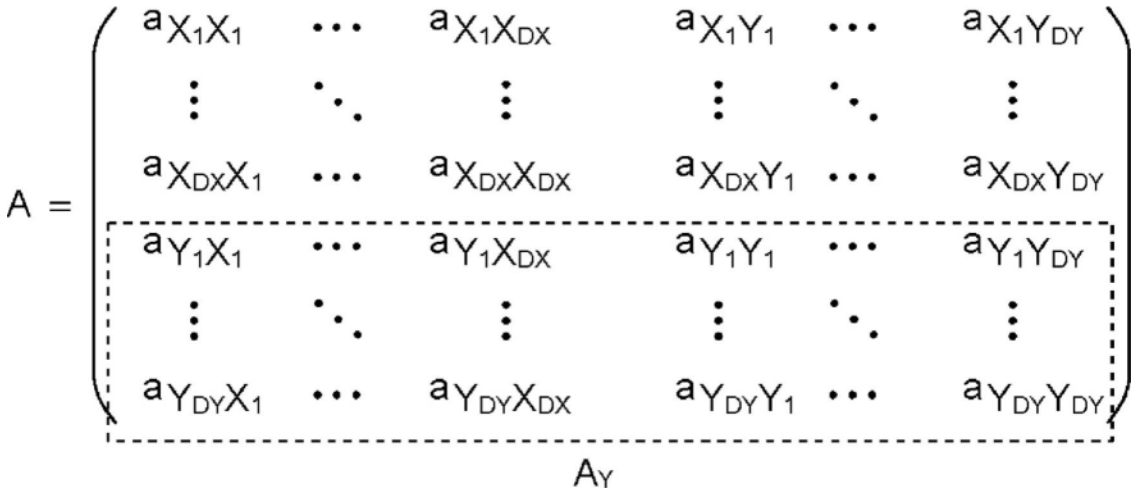

A =
$a_{X_1X_1}$ ⋯ $a_{X_1X_{DX}}$ $a_{X_1Y_1}$ ⋯ $a_{X_1Y_{DY}}$
$a_{X_{DX}X_1}$ ⋯ $a_{X_{DX}X_{DX}}$ $a_{X_{DX}Y_1}$ ⋯ $a_{X_{DX}Y_{DY}}$
$a_{Y_1X_1}$ ⋯ $a_{Y_1X_{DX}}$ $a_{Y_1Y_1}$ ⋯ $a_{Y_1Y_{DY}}$
$a_{Y_{DY}X_1}$ ⋯ $a_{Y_{DY}X_{DX}}$ $a_{Y_{DY}Y_1}$ ⋯ $a_{Y_{DY}Y_{DY}}$
A_Y

图3A

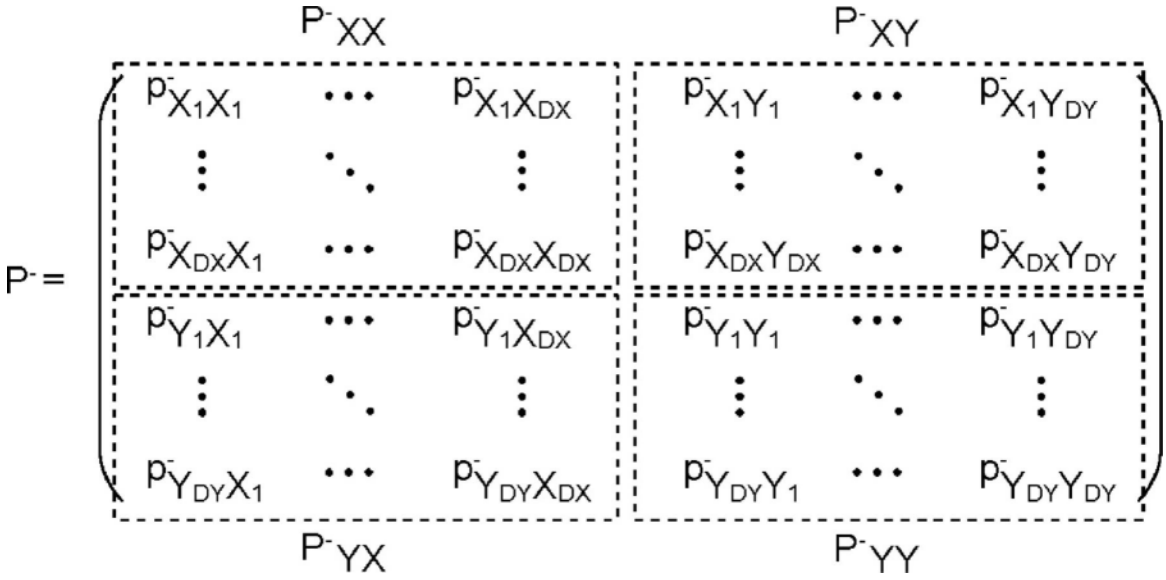

P^- =
P^-_{XX}
P^-_{XY}
$p^-_{X_1X_1}$ ⋯ $p^-_{X_1X_{DX}}$
$p^-_{X_{DX}X_1}$ ⋯ $p^-_{X_{DX}X_{DX}}$
$p^-_{X_1Y_1}$ ⋯ $p^-_{X_1Y_{DY}}$
$p^-_{X_{DX}Y_{DX}}$ ⋯ $p^-_{X_{DX}Y_{DY}}$
$p^-_{Y_1X_1}$ ⋯ $p^-_{Y_1X_{DX}}$
$p^-_{Y_{DY}X_1}$ ⋯ $p^-_{Y_{DY}X_{DX}}$
$p^-_{Y_1Y_1}$ ⋯ $p^-_{Y_1Y_{DY}}$
$p^-_{Y_{DY}Y_1}$ ⋯ $p^-_{Y_{DY}Y_{DY}}$
P^-_{YX}
P^-_{YY}

图3B

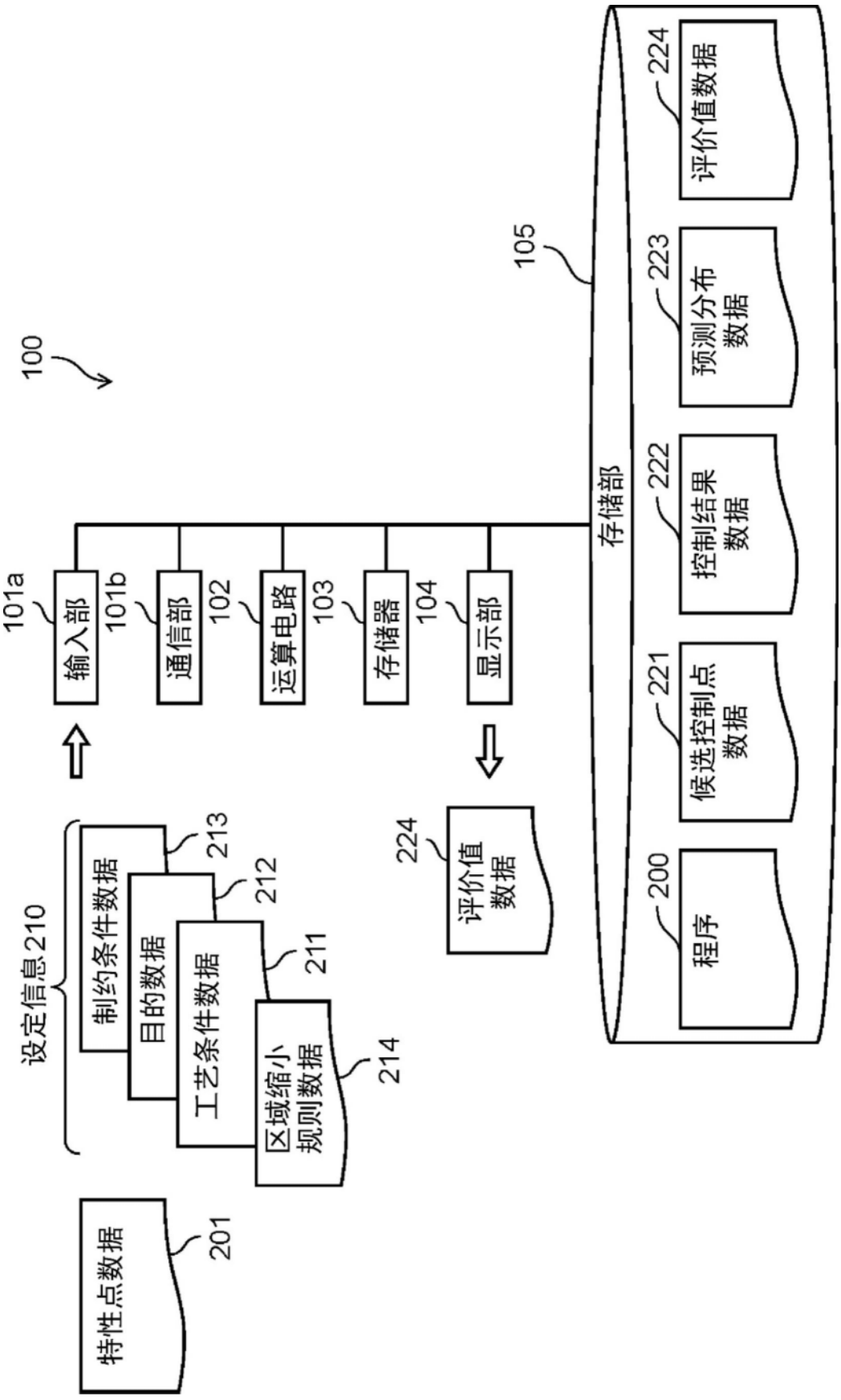

100
101a
输入部
101b
通信部
102
运算电路
103
存储器
104
显示部
105
存储部
224
评价值数据
223
预测分布数据
222
控制结果数据
221
候选控制点数据
200
程序
设定信息210
制约条件数据
213
目的数据
212
工艺条件数据
211
区域缩小规则数据
214
特性点数据
201
224
评价值数据

图4

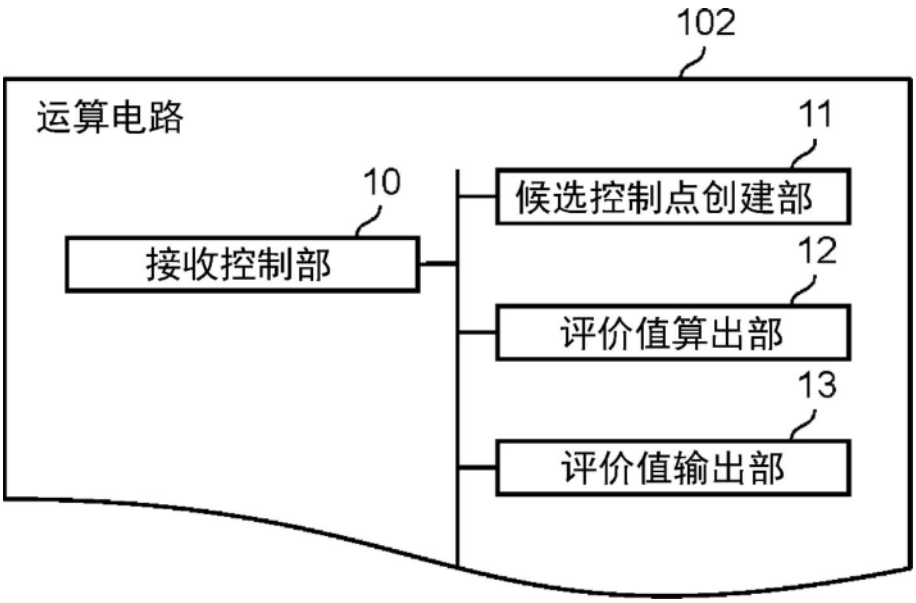


图5

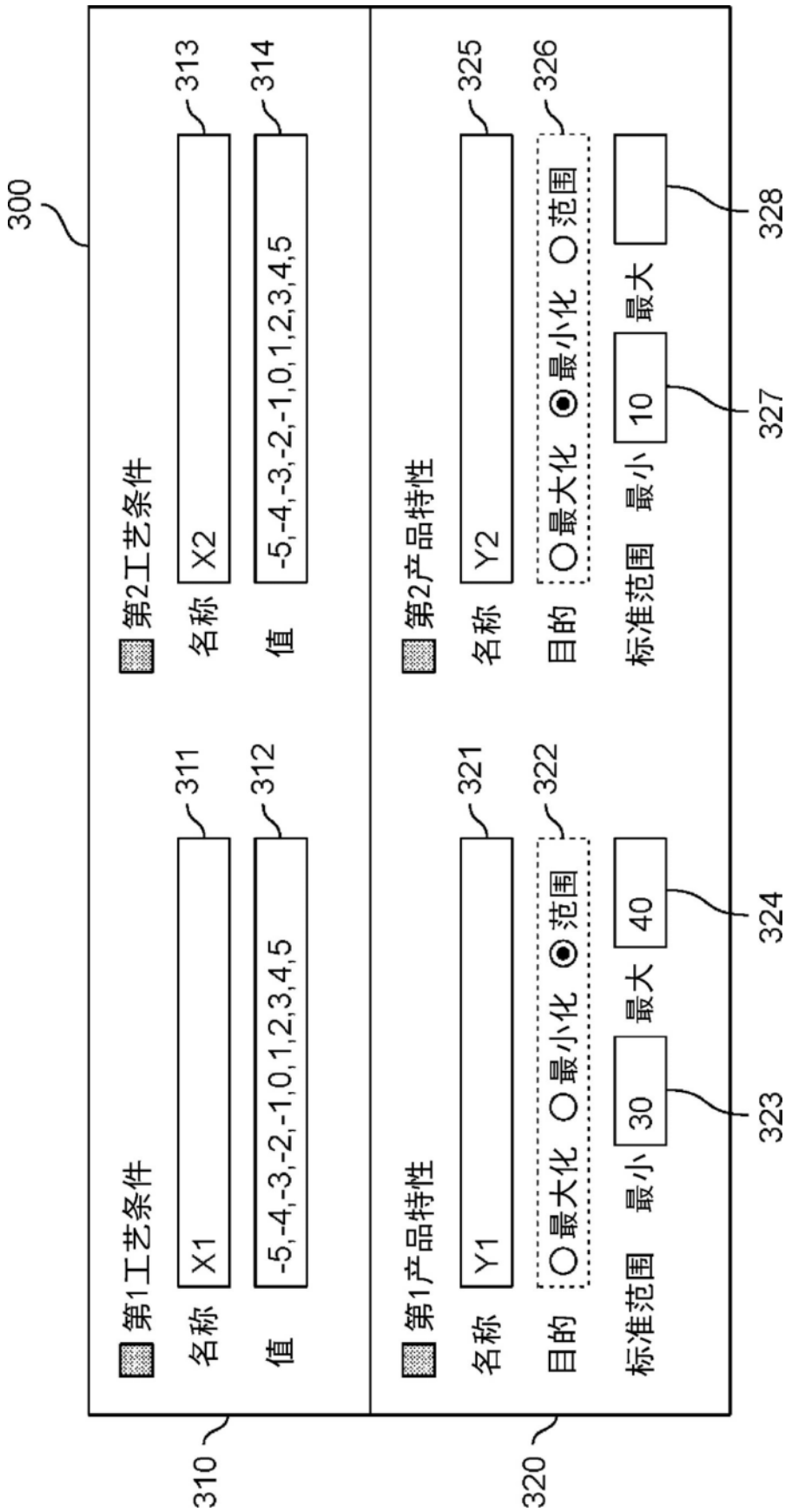

300
第1工艺条件
名称
X1
311
值
-5,-4,-3,-2,-1,0,1,2,3,4,5
312
第2工艺条件
名称
X2
313
值
-5,-4,-3,-2,-1,0,1,2,3,4,5
314
310
第1产品特性
名称
Y1
321
目的
○最大化 ○最小化 ◉范围
322
标准范围 最小 30 最大 40
323
324
第2产品特性
名称
Y2
325
目的
○最大化 ◉最小化 ○范围
326
标准范围 最小 10 最大
327
328
320

图6

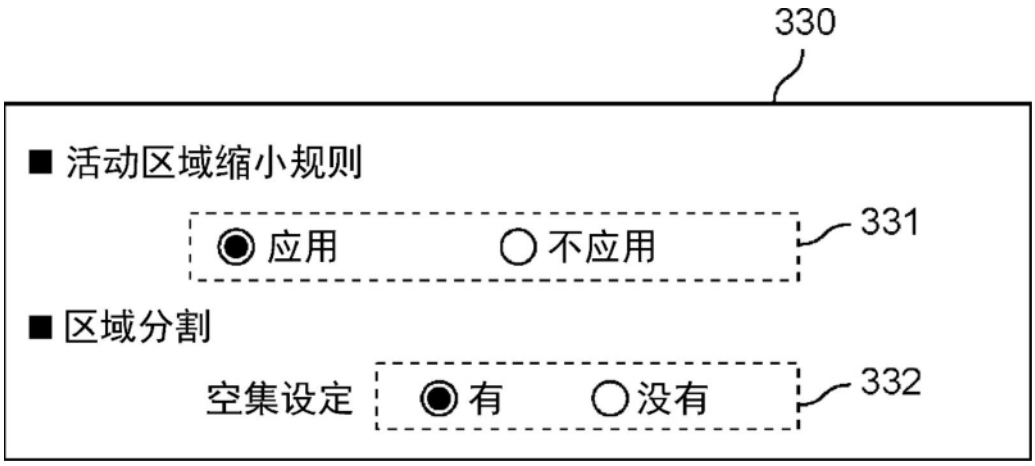


图7

区域缩小规则数据 214

帕累托边界的定义	变更
活动区域的定义	变更
区域分割	应用

图8

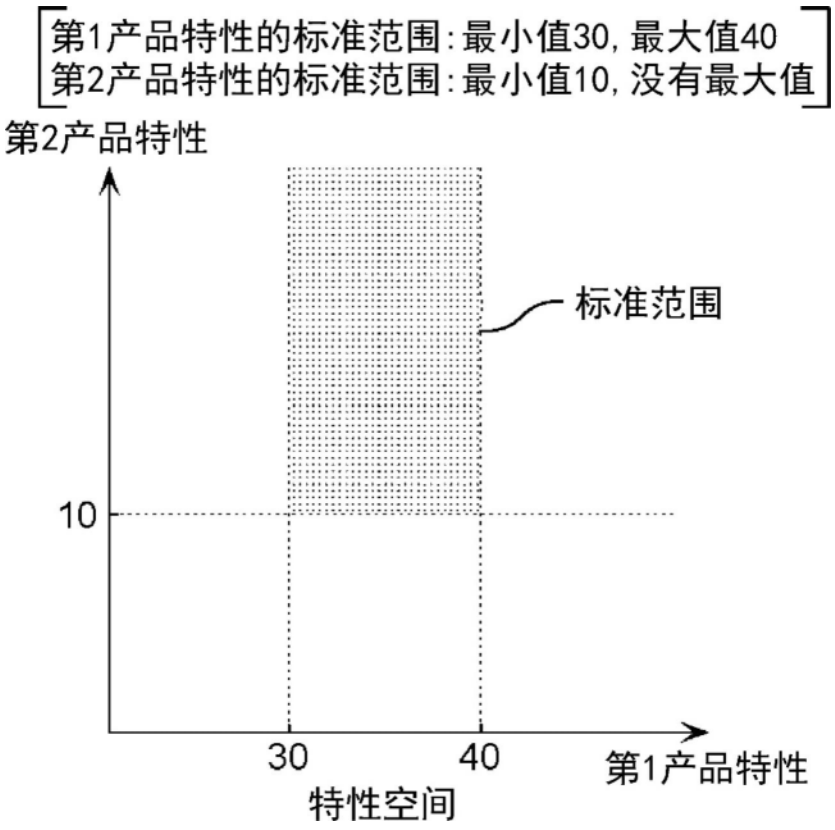

第1产品特性的标准范围:最小值30,最大值40
第2产品特性的标准范围:最小值10,没有最大值
第2产品特性
标准范围
10
30
40
第1产品特性
特性空间

图9A

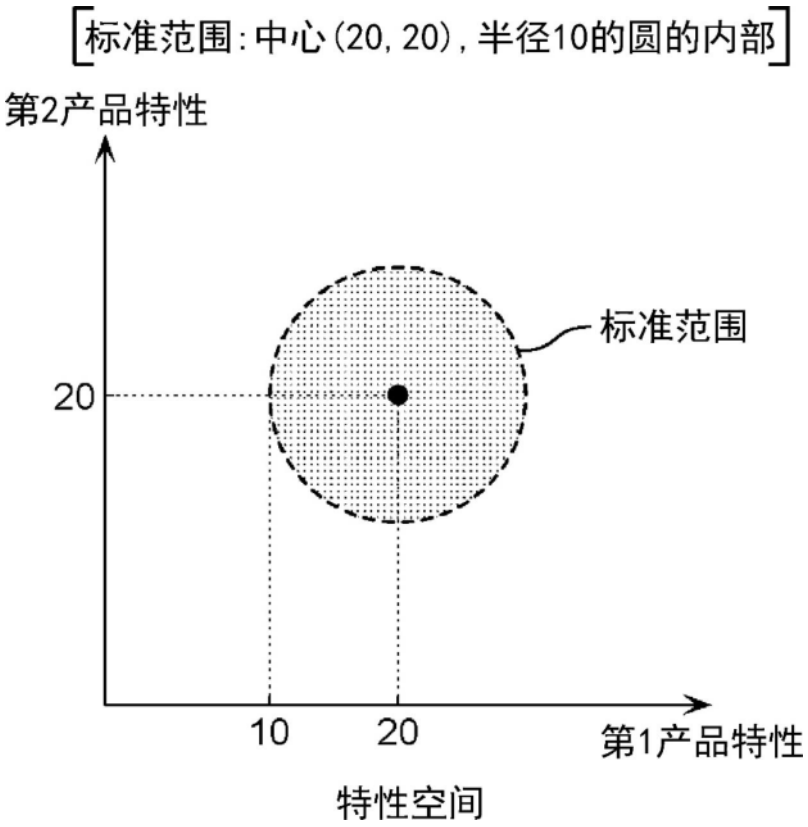


图9B

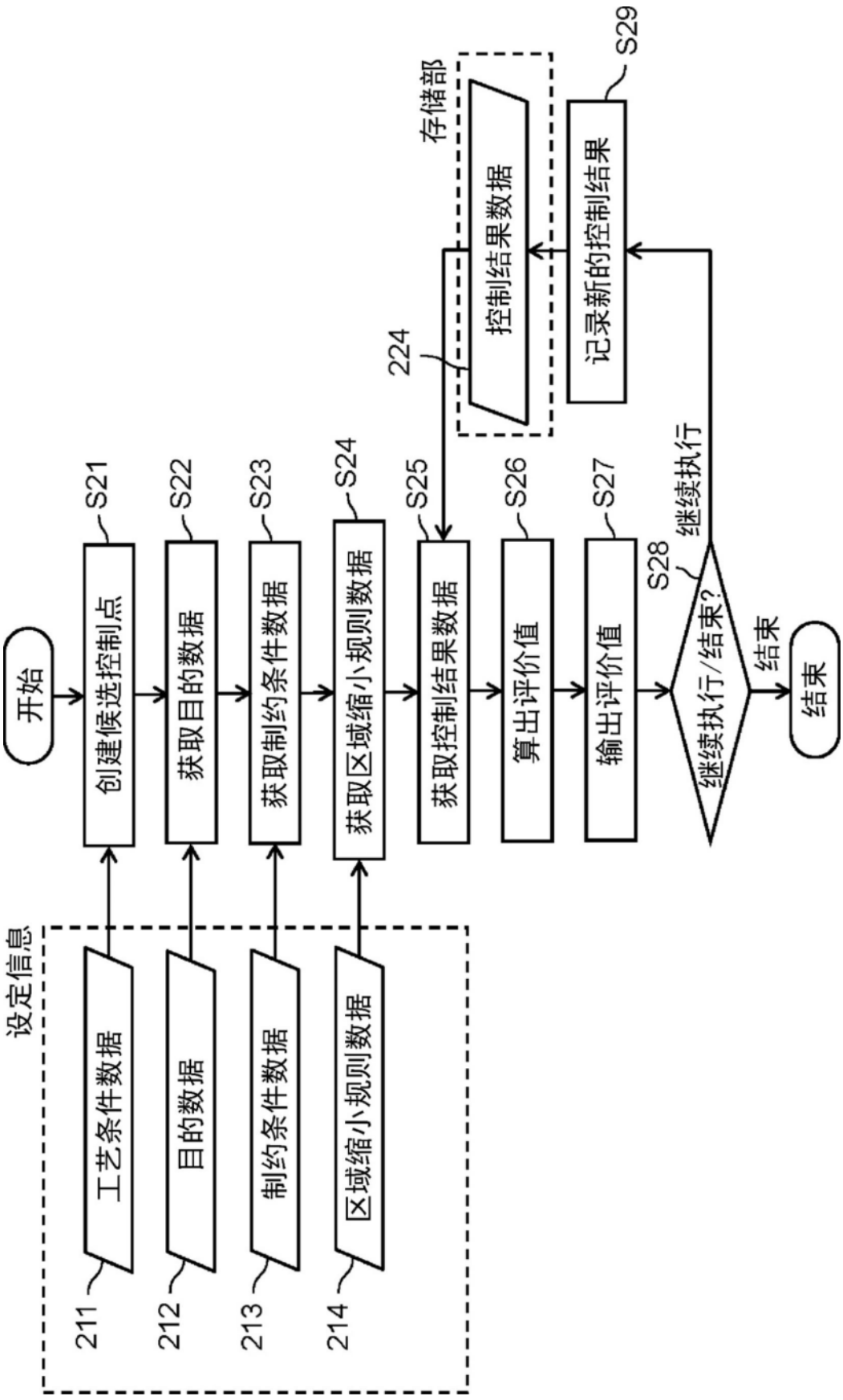

开始
创建候选控制点
S21
获取目的数据
S22
获取制约条件数据
S23
获取区域缩小规则数据
S24
获取控制结果数据
S25
算出评价值
S26
输出评价值
S27
继续执行/结束?
S28
继续执行
结束
结束
存储部
控制结果数据
224
记录新的控制结果
S29
设定信息
工艺条件数据
211
目的数据
212
制约条件数据
213
区域缩小规则数据
214

图10

第1工艺条件(连续变量)的值:10, 20, 30, 40, 50
第2工艺条件(连续变量)的值:100, 200, 300, 400, 500

控制点编号	候选控制点(第1工艺条件的值, 第2工艺条件的值)
1	(10,100)
2	(10,200)
3	(10,300)
4	(10,400)
5	(10,500)
6	(20,100)
7	(20,200)
8	(20,300)
9	(20,400)
10	(20,500)
⋮	⋮
23	(50,300)
24	(50,400)
25	(50,500)

候选控制点数据 221

图11A

第1工艺条件(连续变量)的值:10, 20, 30
第2工艺条件(比率变量)的值:0.0, 0.2, 0.4, 0.6, 0.8, 1.0
第3工艺条件(比率变量)的值:0.0, 0.2, 0.4, 0.6, 0.8, 1.0

控制点编号	候选控制点(第1工艺条件的值, 第2工艺条件的值, 第3工艺条件的值)
1	(10,0.0,1.0)
2	(10,0.2,0.8)
3	(10,0.4,0.6)
4	(10,0.6,0.4)
5	(10,0.8,0.2)
6	(10,1.0,0.0)
7	(20,0.0,1.0)
8	(20,0.2,0.8)
9	(20,0.4,0.6)
10	(20,0.6,0.4)
11	(20,0.8,0.2)
12	(20,1.0,0.0)
⋮	⋮
16	(30,0.6,0.4)
17	(30,0.8,0.2)
18	(30,1.0,0.0)

候选控制点数据 221

图11B

控制结果数据 222

控制编号	第1 工艺条件	第2 工艺条件	第1 产品特性	第2 产品特性
1	10	100	8	0.0
2	10	500	40	1.6
3	50	100	40	1.6
4	50	500	72	3.2
5	30	300	32	0.8
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮

图12

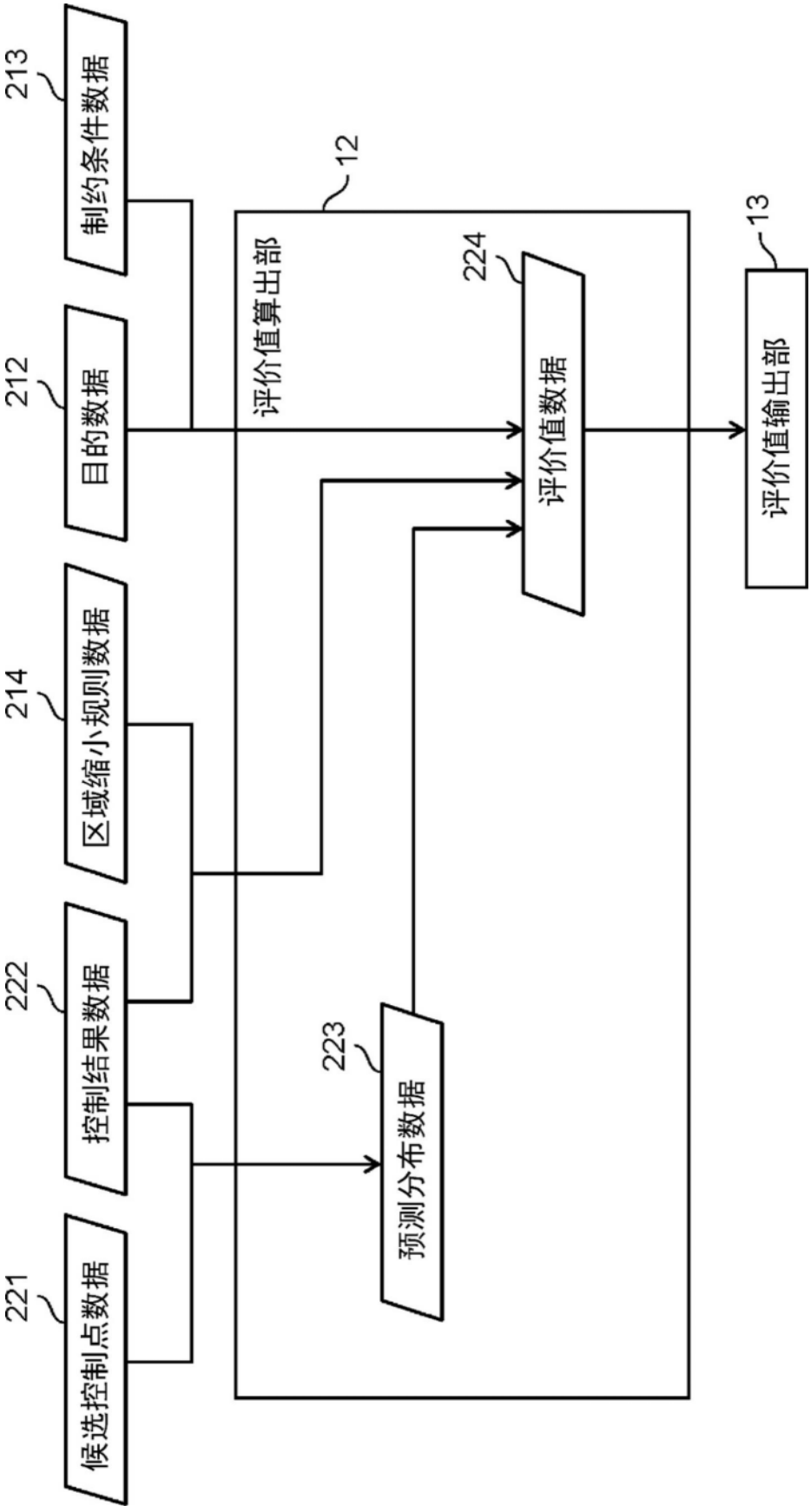

213
制约条件数据
12
评价值算出部
13
224
212
目的数据
评价值数据
评价值输出部
214
区域缩小规则数据
222
控制结果数据
223
预测分布数据
221
候选控制点数据

图13

预测分布数据 223

控制点编号	第1产品特性		第2产品特性	
	均值	方差	均值	方差
1	23.5322	19.4012	0.77661	0.97006
2	30.2536	21.5521	1.11268	1.07761
3	37.9799	22.5370	1.49899	1.12685
4	39.8555	21.5521	1.59277	1.07761
5	40.0000	19.4012	1.60000	0.97006
6	30.2536	21.5521	1.11268	1.07761
7	34.2329	22.2566	1.31164	1.11283
8	38.8221	22.5958	1.54111	1.12979
9	40.0000	22.2566	1.60000	1.11283
10	40.1445	21.5521	1.60723	1.07761
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
23	42.0201	22.5370	1.70101	1.12685
24	49.7464	21.5521	2.08732	1.07761
25	56.4678	19.4012	2.42339	0.97006

图14

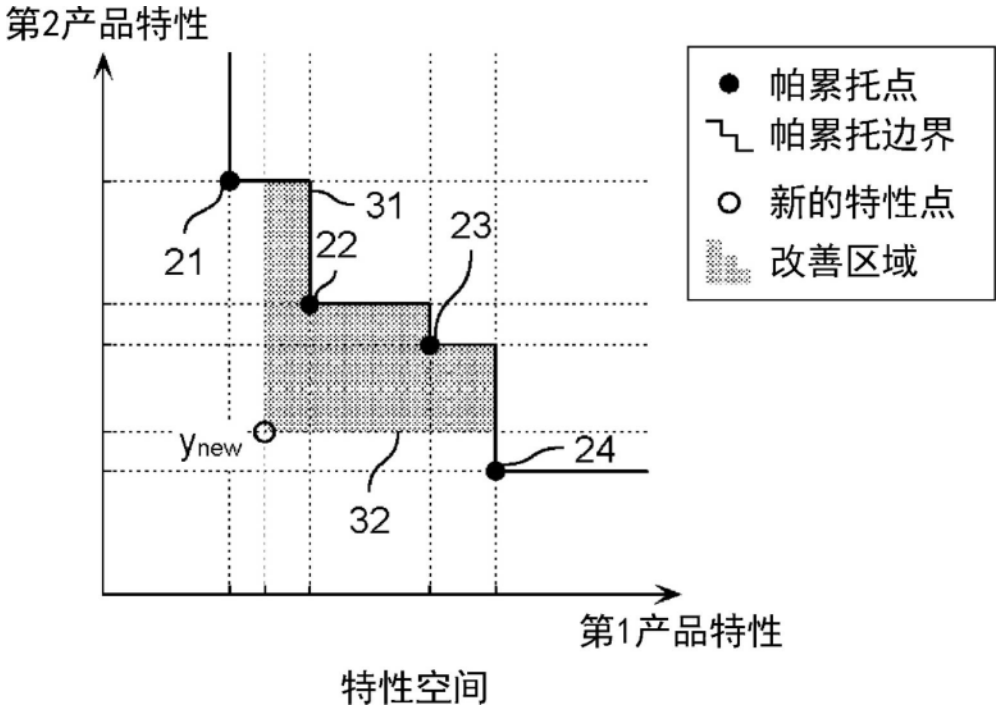

第2产品特性
帕累托点
帕累托边界
新的特性点
改善区域
21
22
31
23
24
32
ynew
第1产品特性
特性空间

图15A

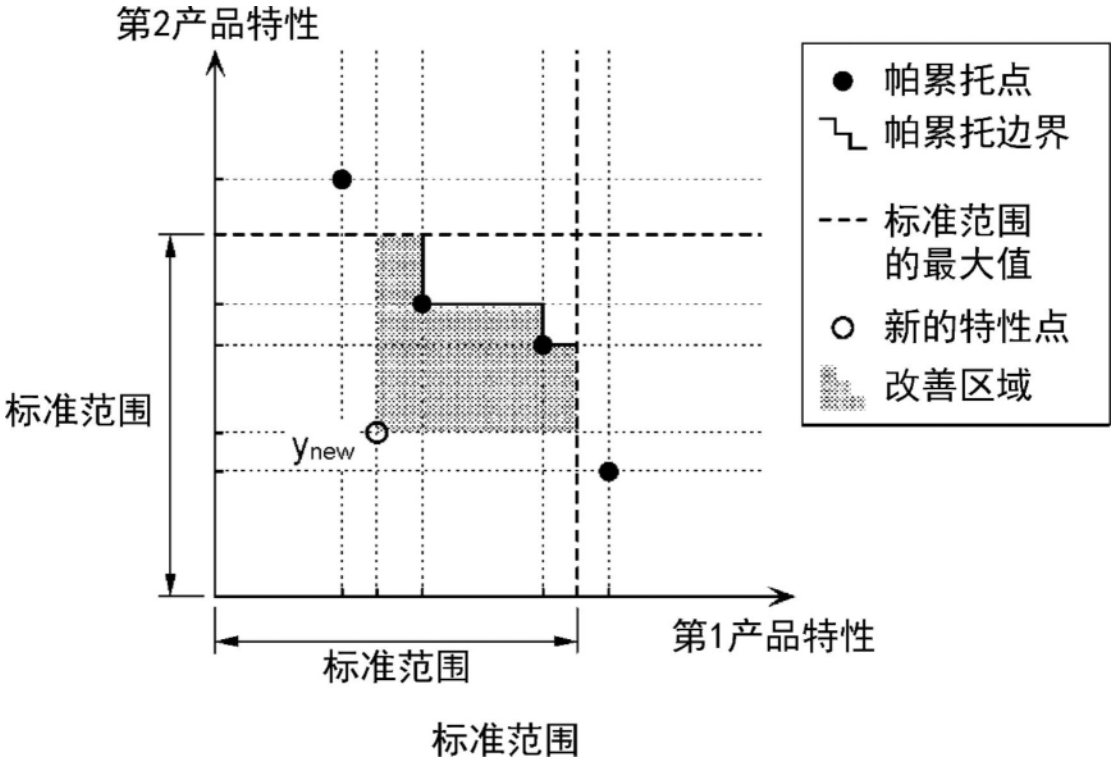

第2产品特性
帕累托点
帕累托边界
标准范围
的最大值
新的特性点
改善区域
标准范围
ynew
第1产品特性
标准范围
标准范围

图15B

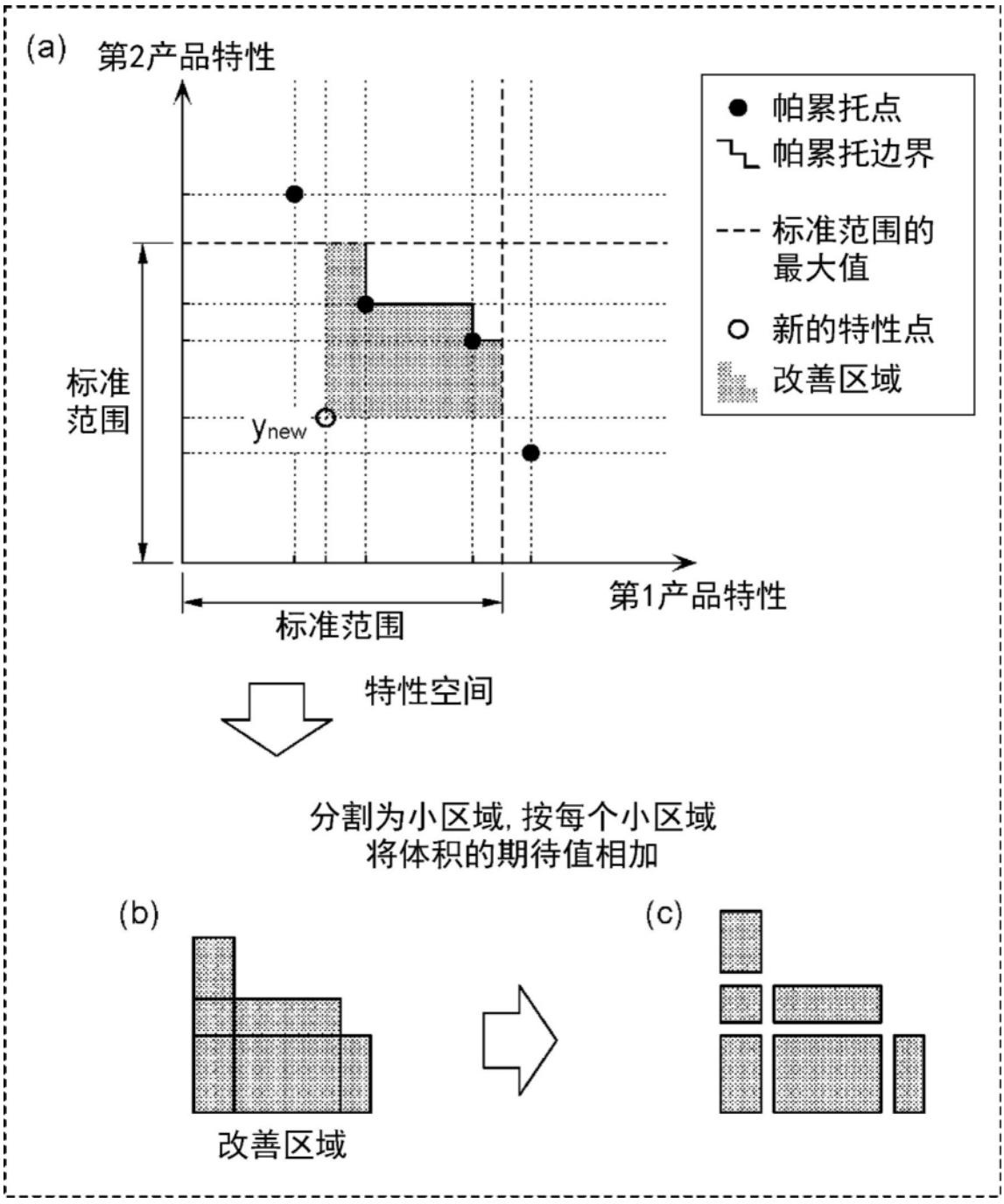

(a)
第2产品特性
帕累托点
帕累托边界
标准范围的最大值
新的特性点
改善区域
标准范围
ynew
第1产品特性
标准范围
特性空间
分割为小区域,按每个小区域将体积的期待值相加
(b)
(c)
改善区域

图16A

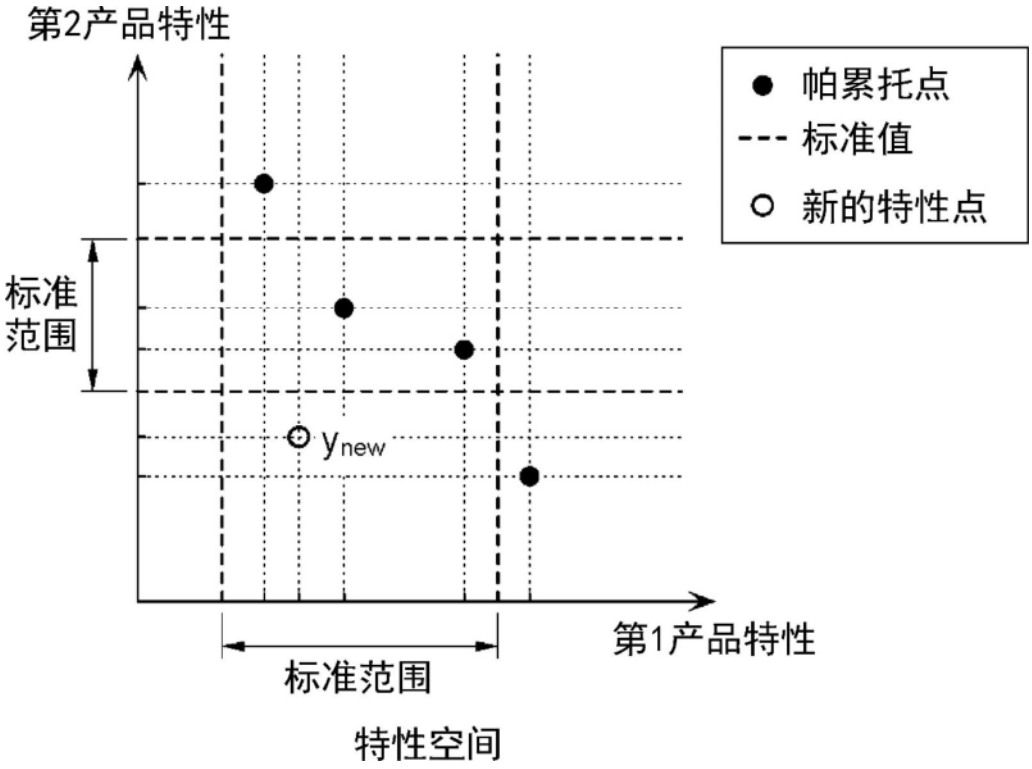

第2产品特性
帕累托点
标准值
新的特性点
标准范围
ynew
第1产品特性
标准范围
特性空间

图16B

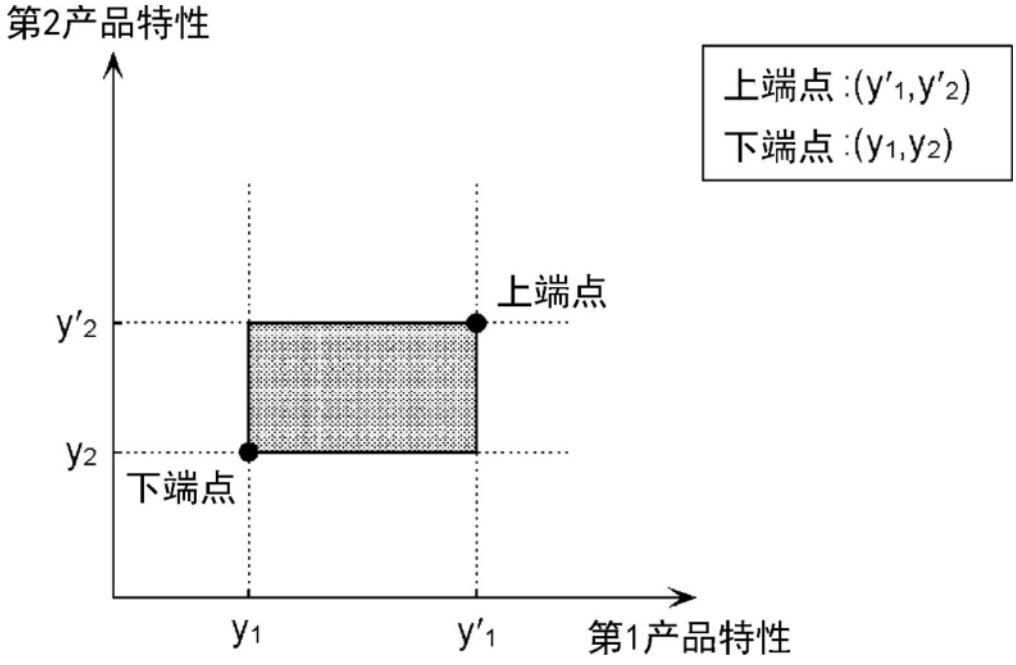

第2产品特性
上端点 :(y′1,y′2)
下端点 :(y1,y2)
上端点
y′2
y2
下端点
y1
y′1
第1产品特性

图16C

区域 1:$\{y\in R^2 \mid y_1>10, y_1>y_2\}$
区域 2:$\{y\in R^2 \mid y_2>10, y_1\leq y_2\}$
区域 3:$\{y\in R^2 \mid -\infty<y_1\leq 10, -\infty<y_2\leq 10\}$

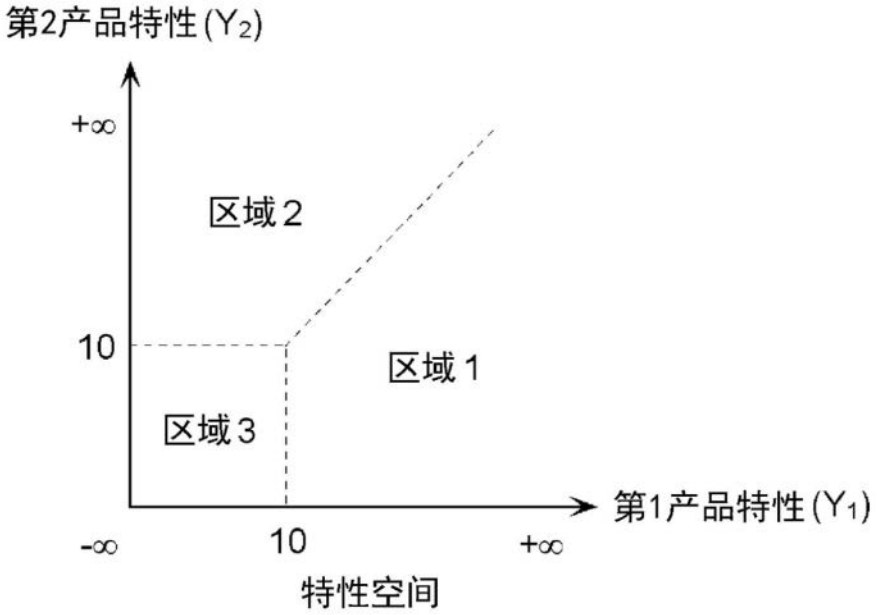


图17

区域 1:$\{y\in R^2 \mid y_2\leq 2y_1-20\}$
区域 2:$\{y\in R^2 \mid y_2>2y_1-20\}$
区域 3:没有(空集)

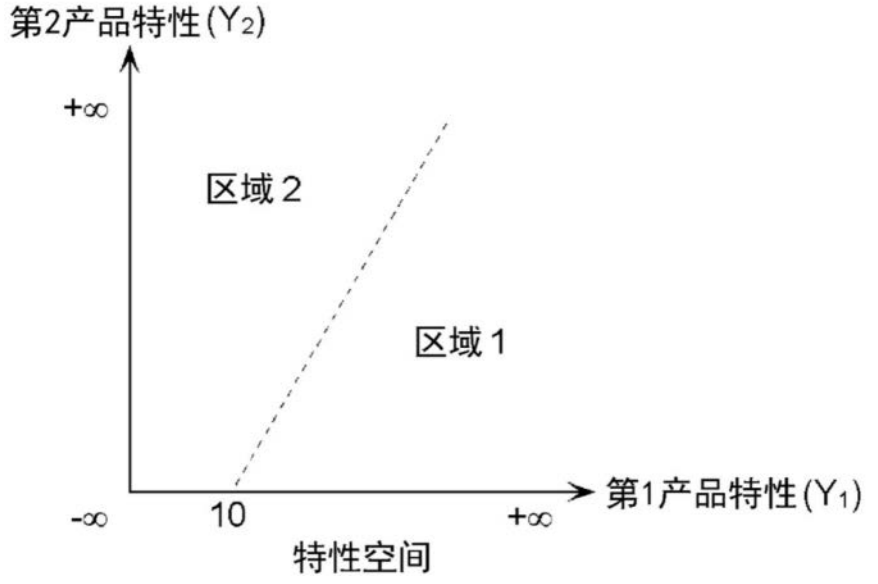


图18A

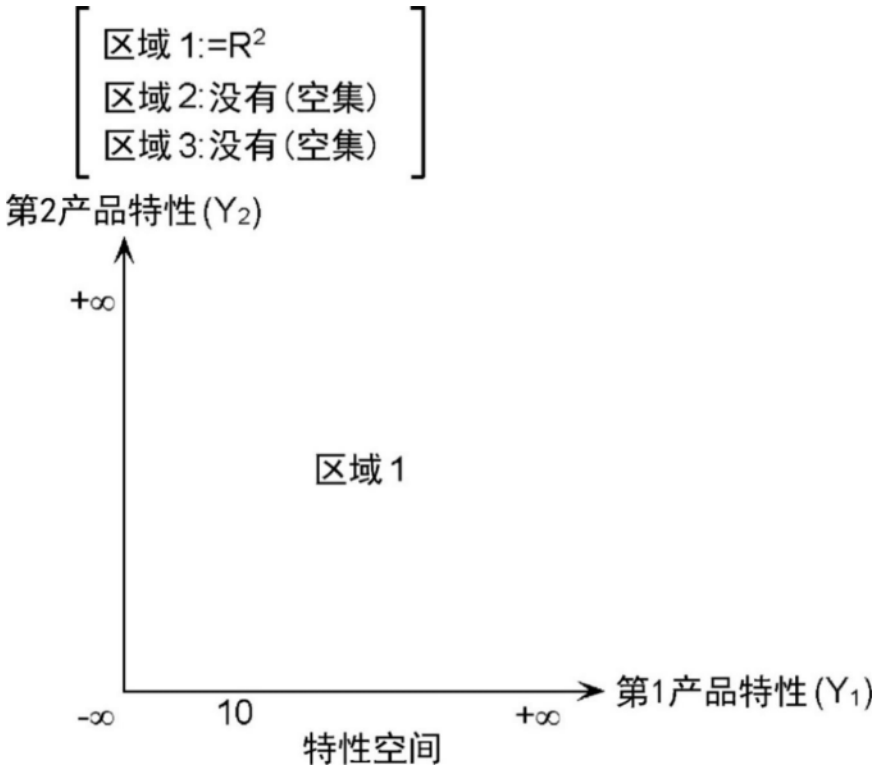

区域1:=R²
区域2:没有(空集)
区域3:没有(空集)
第2产品特性(Y₂)
+∞
区域1
-∞
10
+∞
第1产品特性(Y₁)
特性空间

图18B

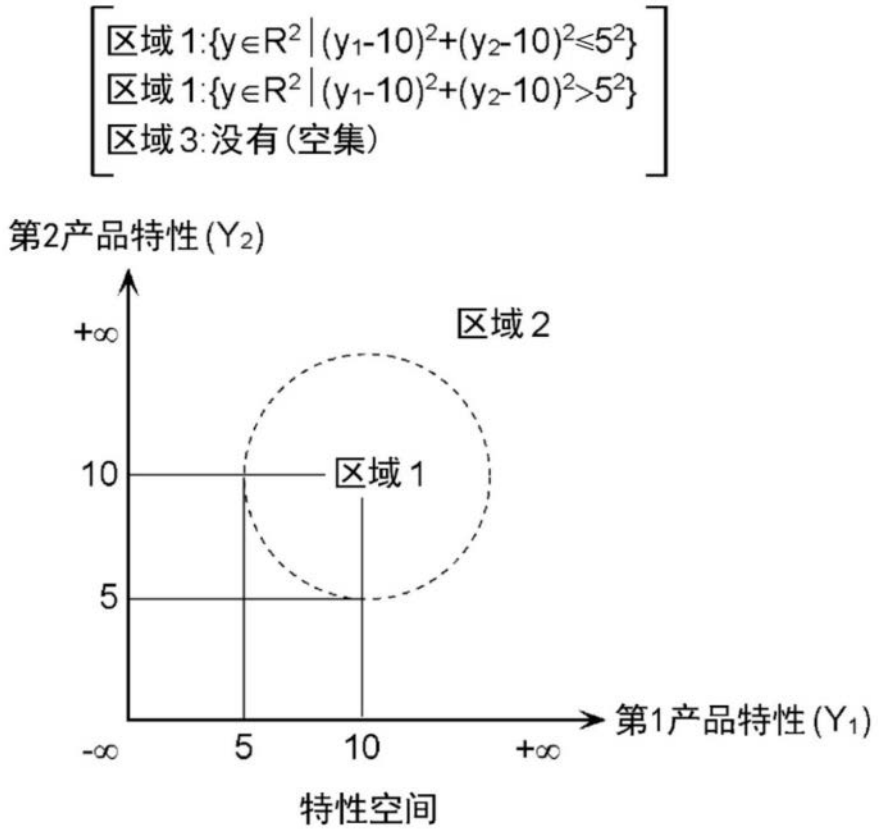

区域1:{y∈R²|(y₁-10)²+(y₂-10)²≤5²}
区域1:{y∈R²|(y₁-10)²+(y₂-10)²>5²}
区域3:没有(空集)
第2产品特性(Y₂)
+∞
区域2
10
区域1
5
-∞
5
10
+∞
第1产品特性(Y₁)
特性空间

图18C

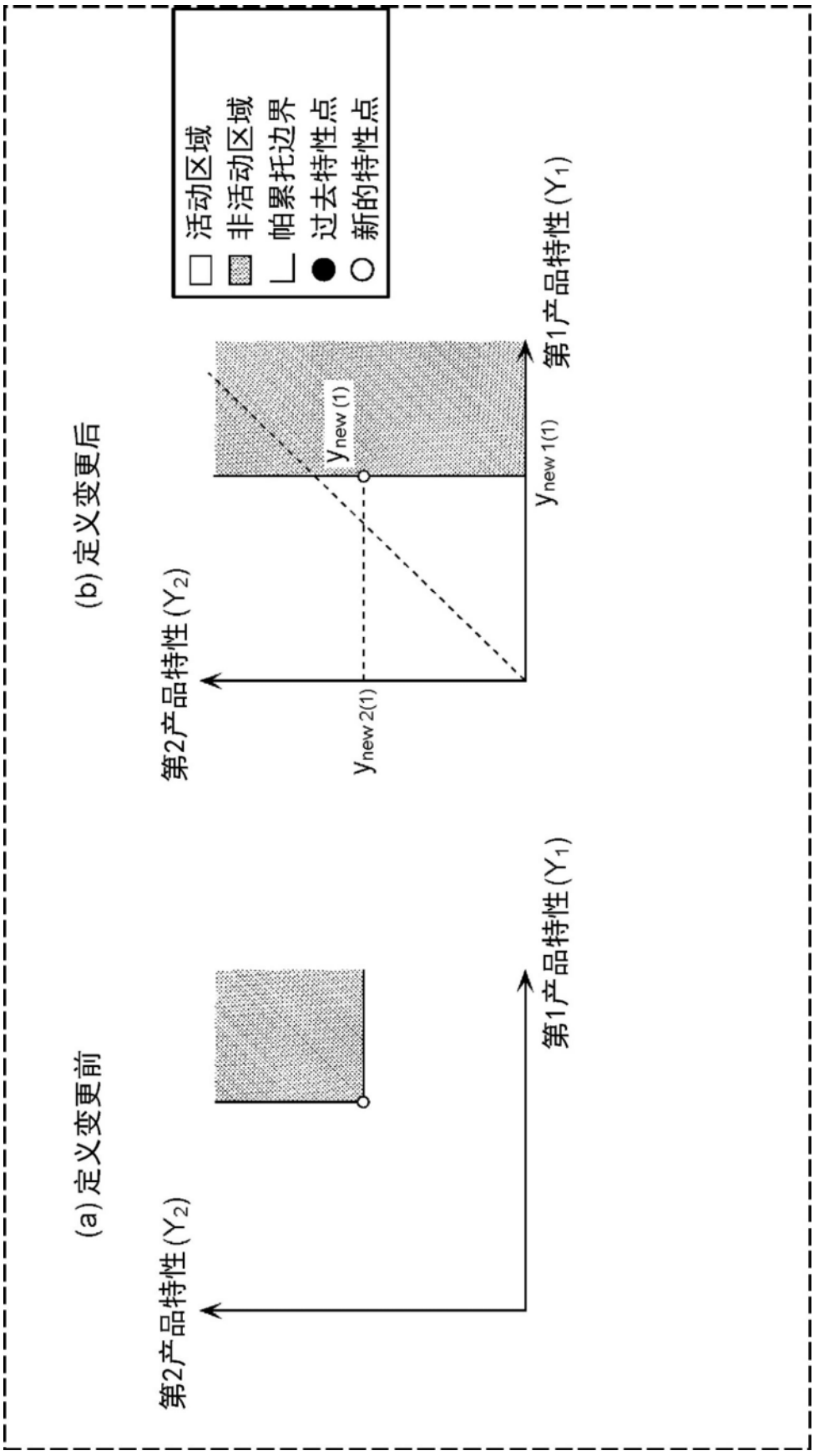

活动区域
非活动区域
帕累托边界
过去特性点
新的特性点
(b) 定义变更后
第2产品特性 (Y2)
第1产品特性 (Y1)
ynew (1)
ynew 1(1)
ynew 2(1)
(a) 定义变更前
第2产品特性 (Y2)
第1产品特性 (Y1)

图19

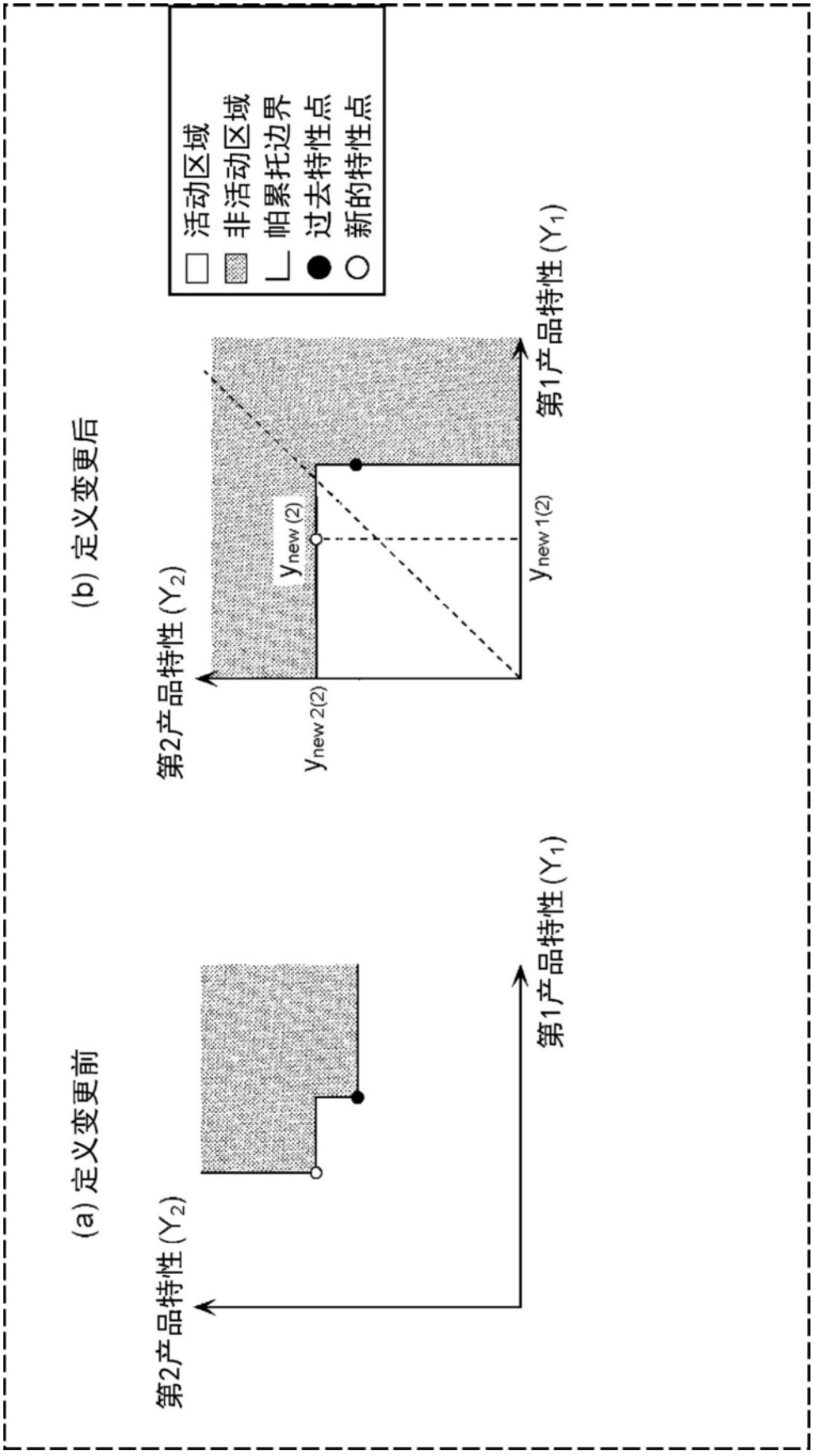

活动区域
非活动区域
帕累托边界
过去特性点
新的特性点
(a) 定义变更前
第2产品特性 (Y2)
第1产品特性 (Y1)
(b) 定义变更后
第2产品特性 (Y2)
第1产品特性 (Y1)
ynew (2)
ynew 2(2)
ynew 1(2)

图20

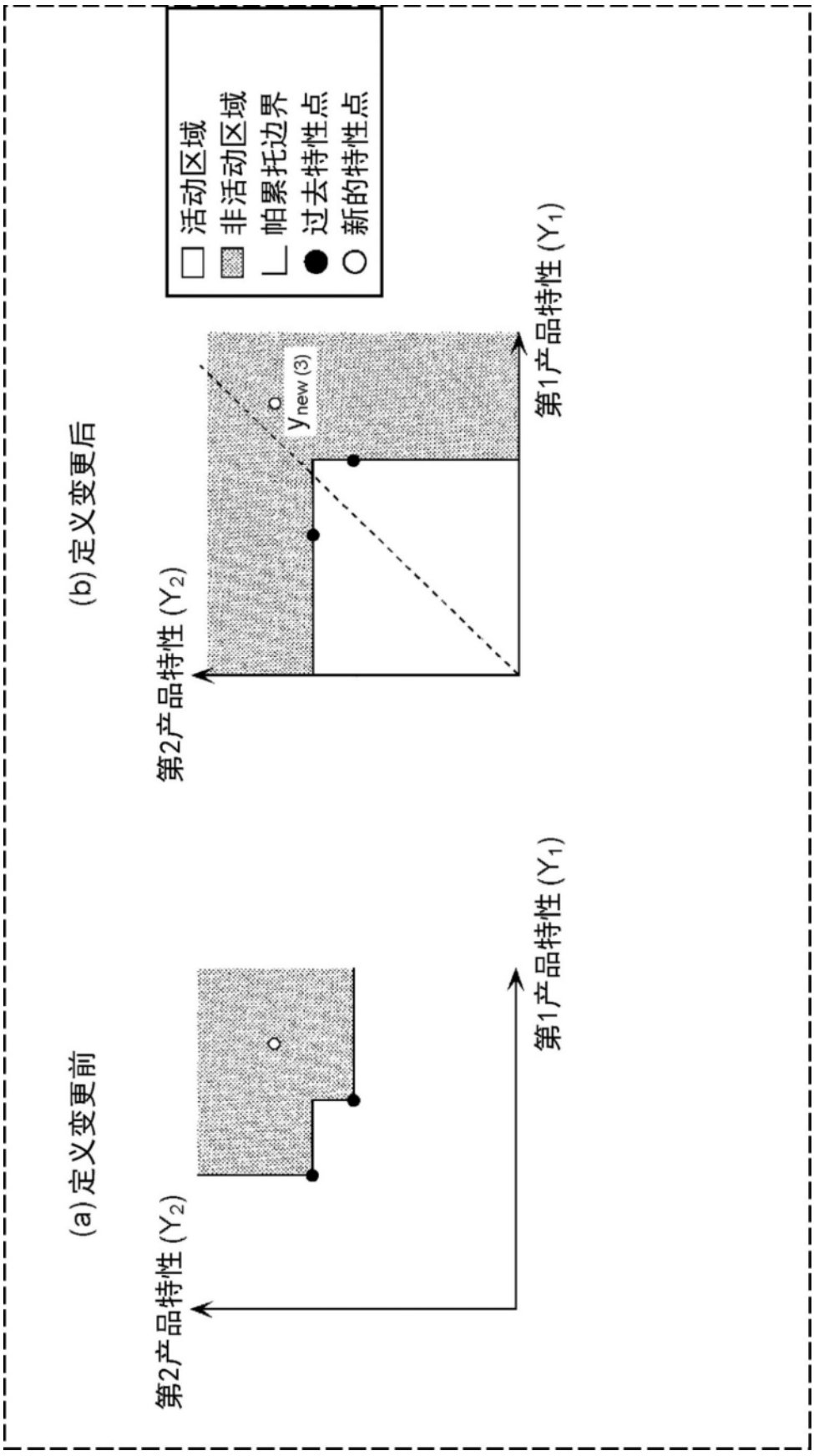

活动区域
非活动区域
帕累托边界
过去特性点
新的特性点
(a)定义变更前
第2产品特性 (Y2)
第1产品特性 (Y1)
(b)定义变更后
第2产品特性 (Y2)
ynew (3)
第1产品特性 (Y1)

图21

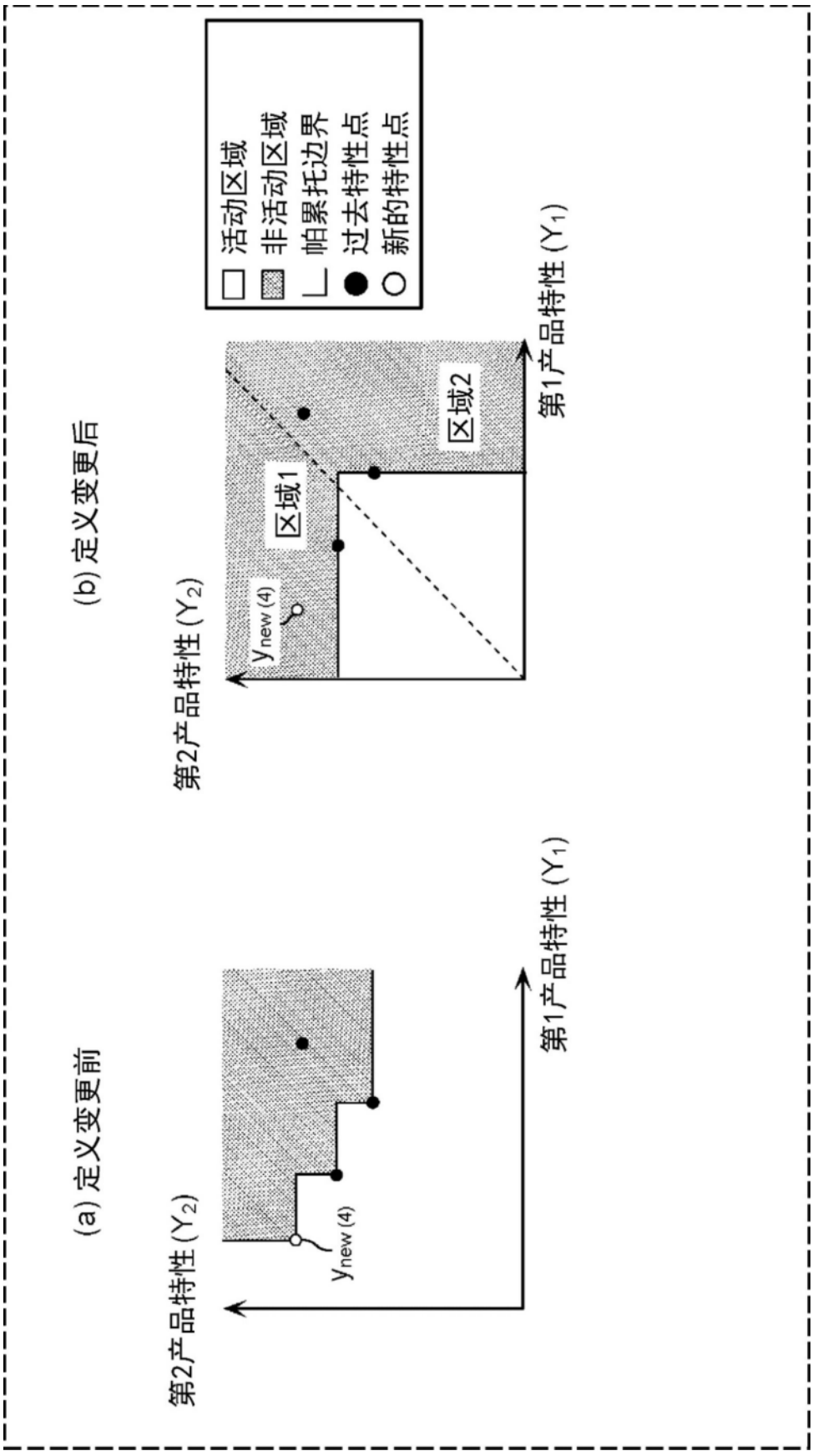

(a) 定义变更前
第2产品特性 (Y2)
ynew (4)
第1产品特性 (Y1)
(b) 定义变更后
第2产品特性 (Y2)
区域1
区域2
ynew (4)
第1产品特性 (Y1)
活动区域
非活动区域
帕累托边界
过去特性点
新的特性点

图22

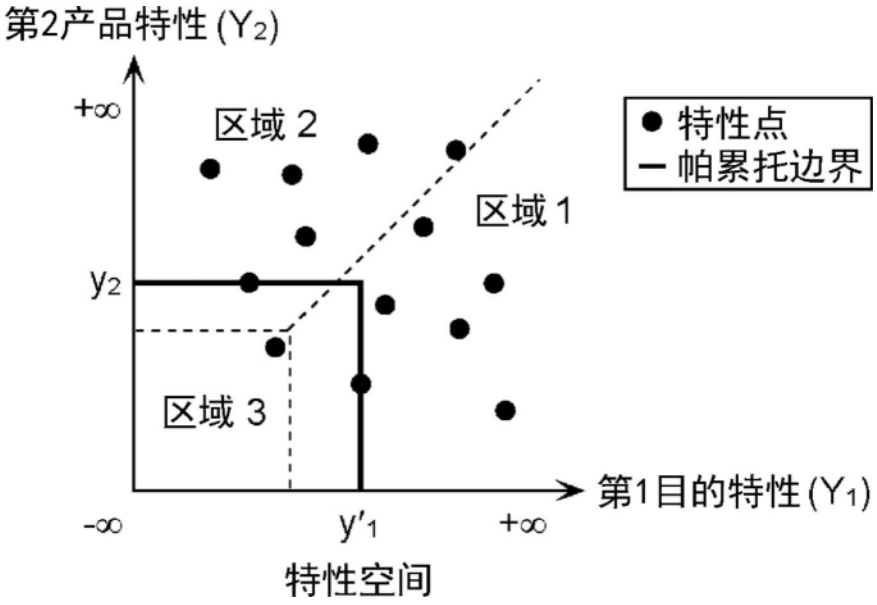

第2产品特性 (Y2)
+∞
区域 2
区域 1
区域 3
y2
特性点
帕累托边界
第1目的特性 (Y1)
-∞
y'1
+∞
特性空间

图23

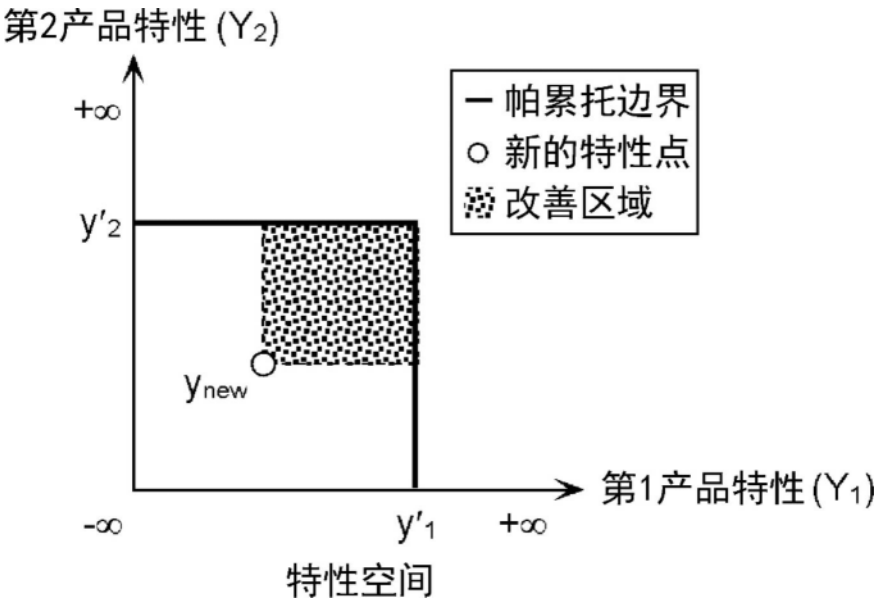

第2产品特性 (Y2)
+∞
y'2
ynew
帕累托边界
新的特性点
改善区域
第1产品特性 (Y1)
-∞
y'1
+∞
特性空间

图24

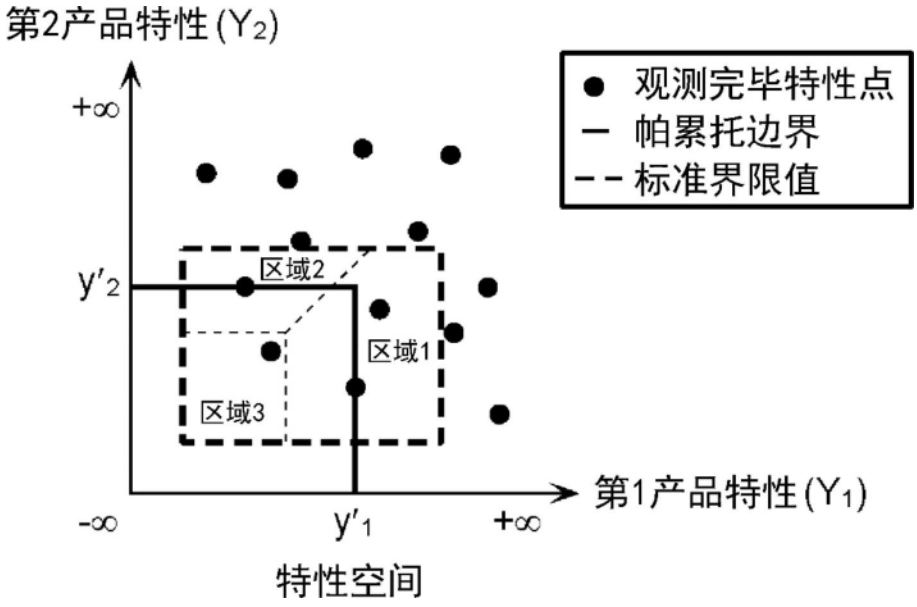

第2产品特性(Y2)
观测完毕特性点
帕累托边界
标准界限值
+∞
y'2
区域2
区域1
区域3
第1产品特性(Y1)
-∞
y'1
+∞
特性空间

图25

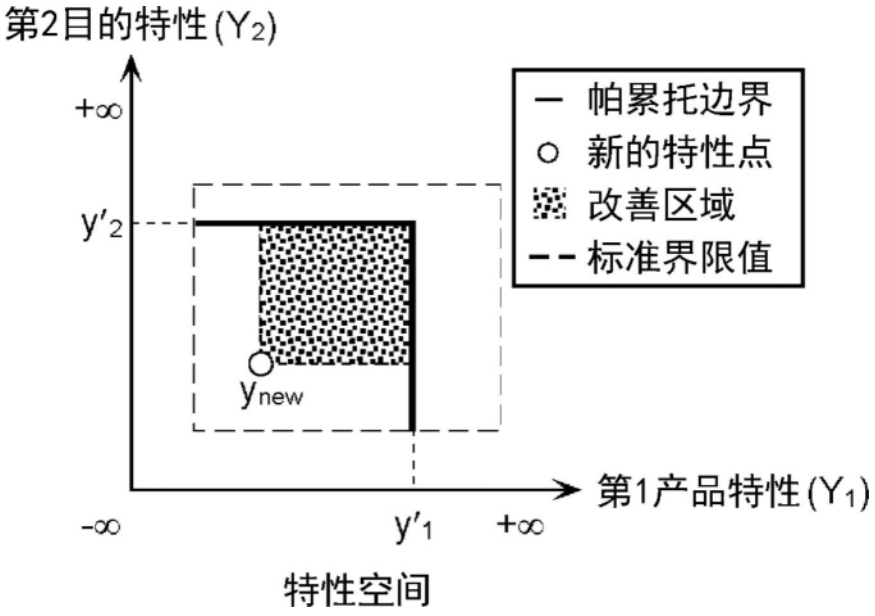

第2目的特性(Y2)
帕累托边界
新的特性点
改善区域
标准界限值
+∞
y'2
ynew
第1产品特性(Y1)
-∞
y'1
+∞
特性空间

图26

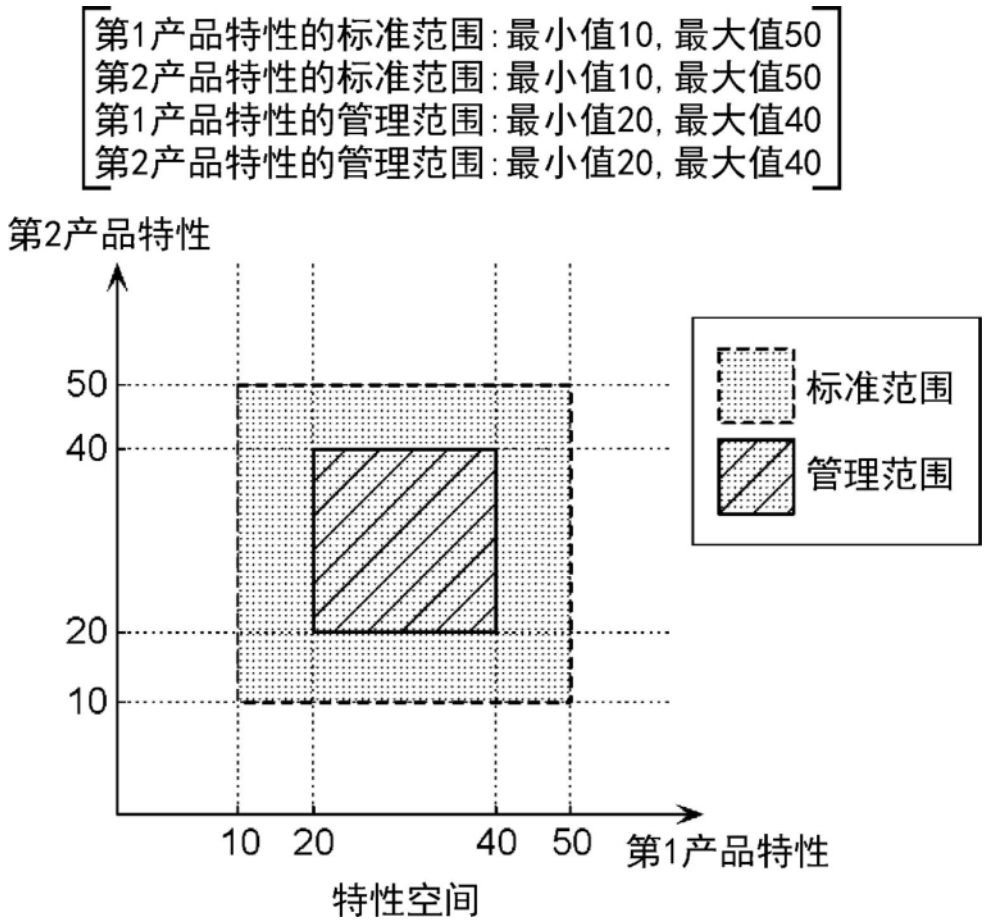

第1产品特性的标准范围:最小值10,最大值50
第2产品特性的标准范围:最小值10,最大值50
第1产品特性的管理范围:最小值20,最大值40
第2产品特性的管理范围:最小值20,最大值40
第2产品特性
50
40
20
10
10
20
40
50
第1产品特性
特性空间
标准范围
管理范围

图27

评价值数据 224

控制点编号	评价值	次序
1	0.00000	23
2	0.87682	1
3	0.62342	4
4	0.55940	8
5	0.00000	24
6	0.87682	2
7	0.74886	3
8	0.59519	6
9	0.55550	11
10	0.54936	13
⋮	⋮	⋮
23	0.48971	18
24	0.25715	21
25	0.00000	25

图28

评价值数据224

评价值次序	评价值	候选控制点
1	0.87682	(10,200)
2	0.87682	(20,100)
3	0.74886	(20,200)
4	0.62342	(10,300)
5	0.62342	(30,100)
6	0.59519	(20,300)
7	0.59519	(30,200)
8	0.55940	(10,400)
9	0. 55940	(40,100)
10	0.55604	(30,300)
⋮	⋮	⋮
23	0.00000	(50,300)
24	0.00000	(50,400)
25	0.00000	(50,500)

图29

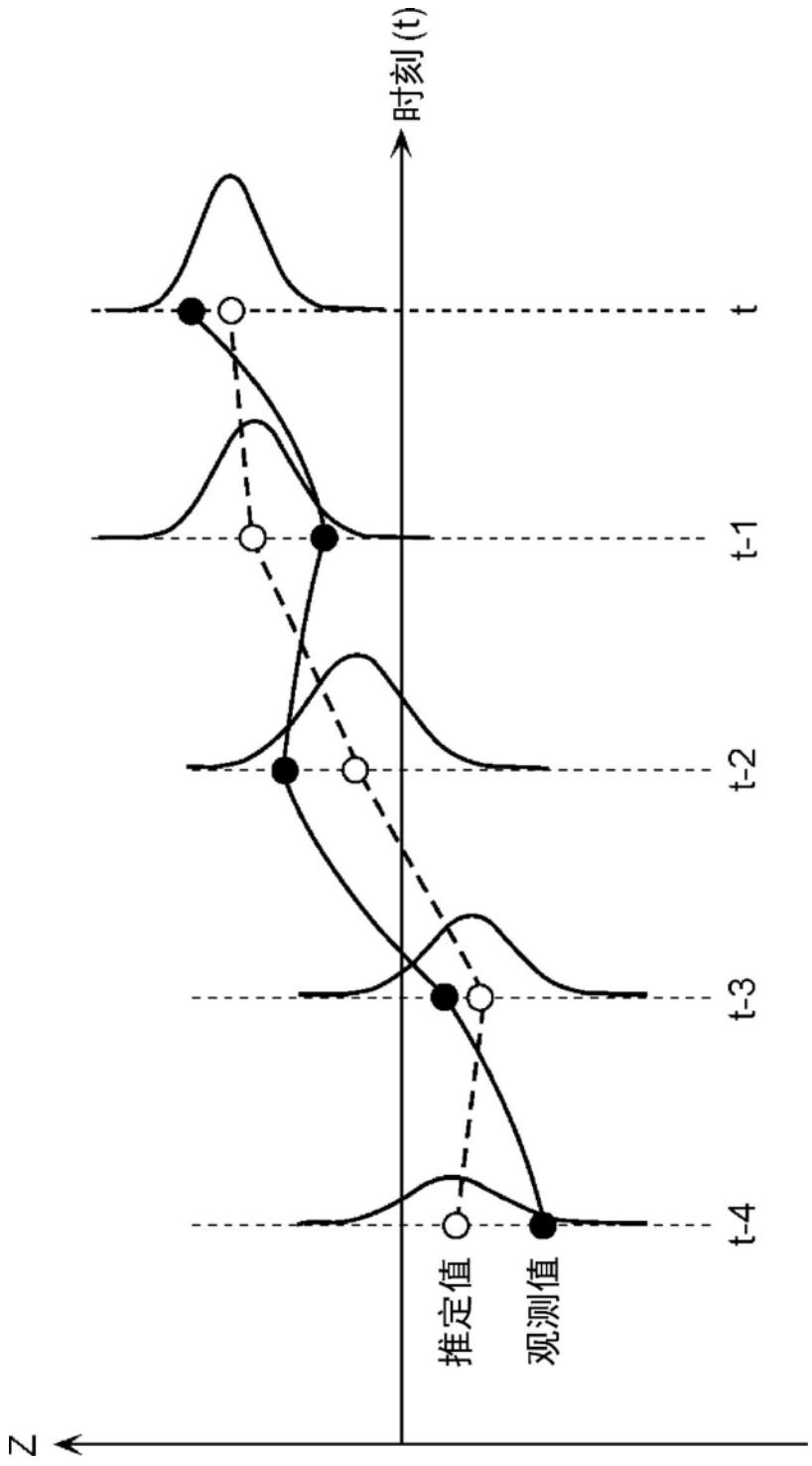


图30

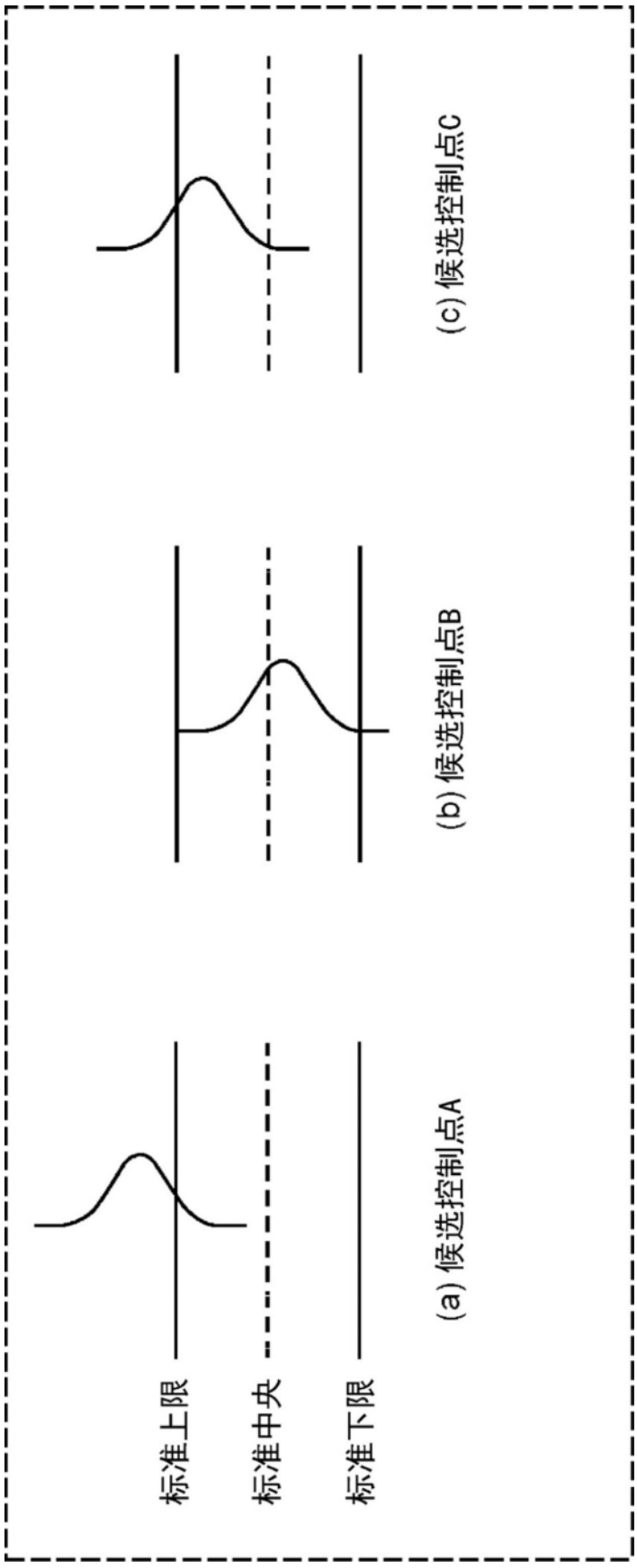


图31

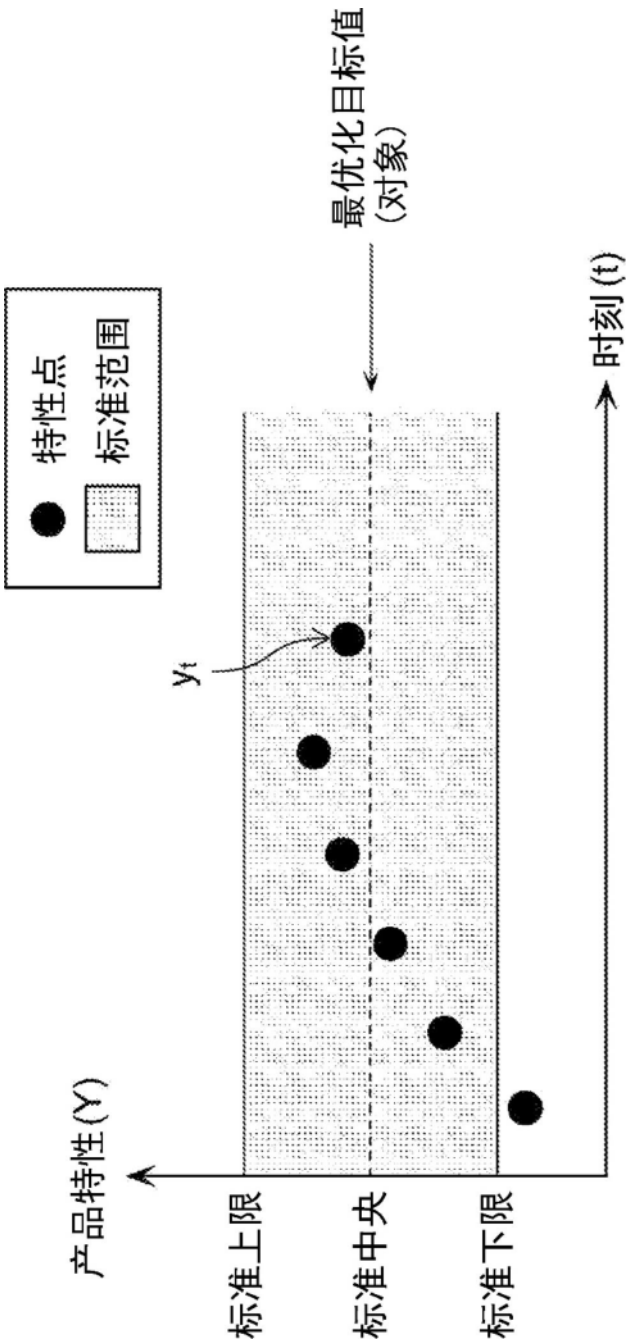


图32A

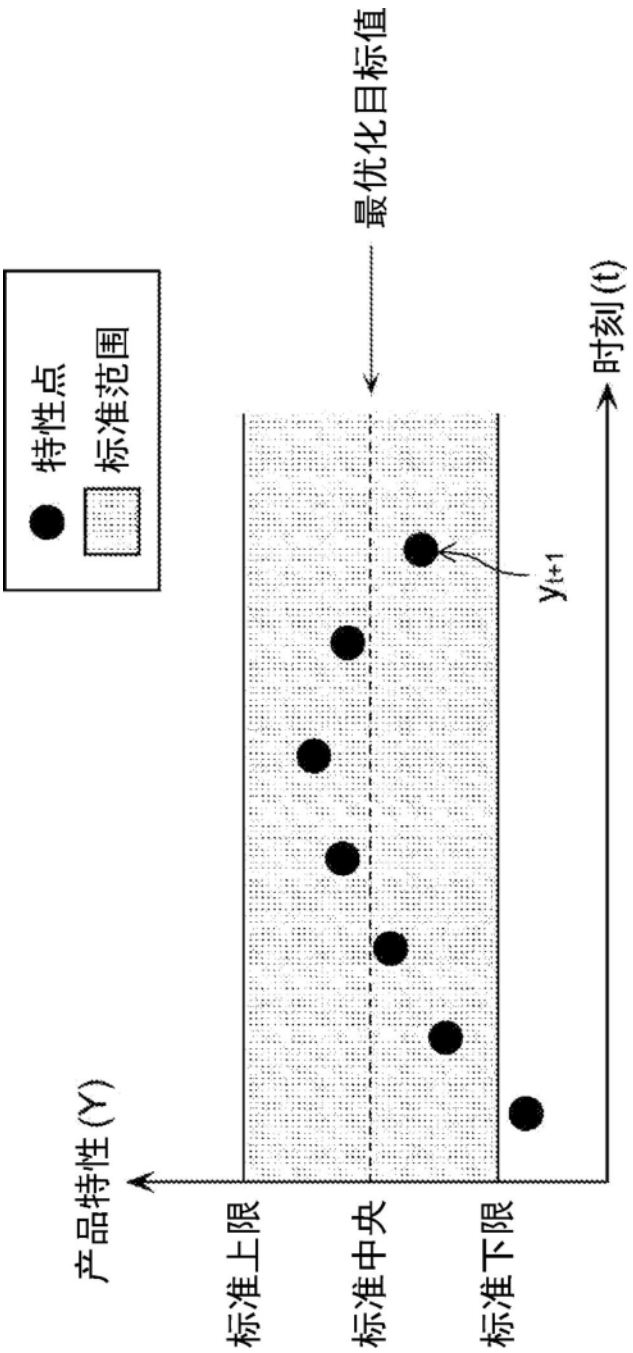


图32B

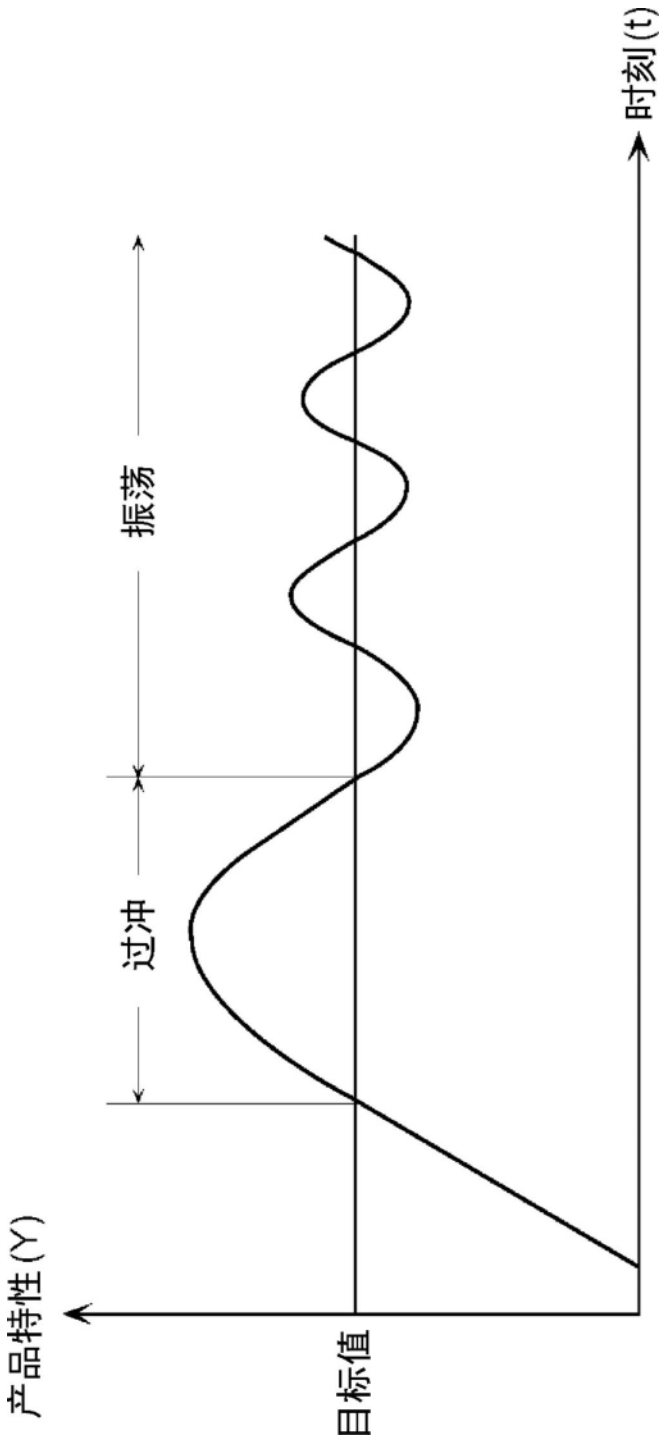


图33

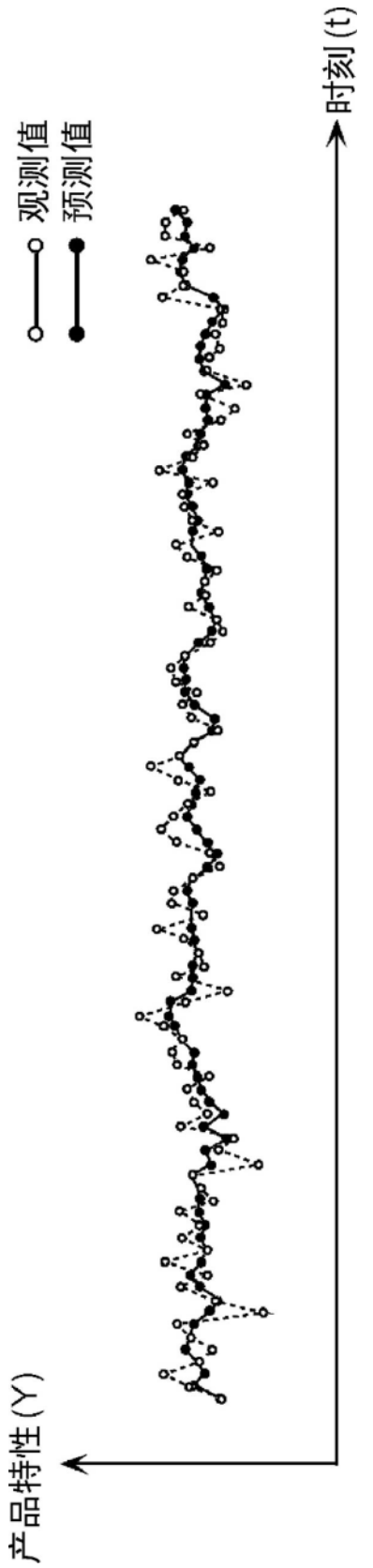


图34

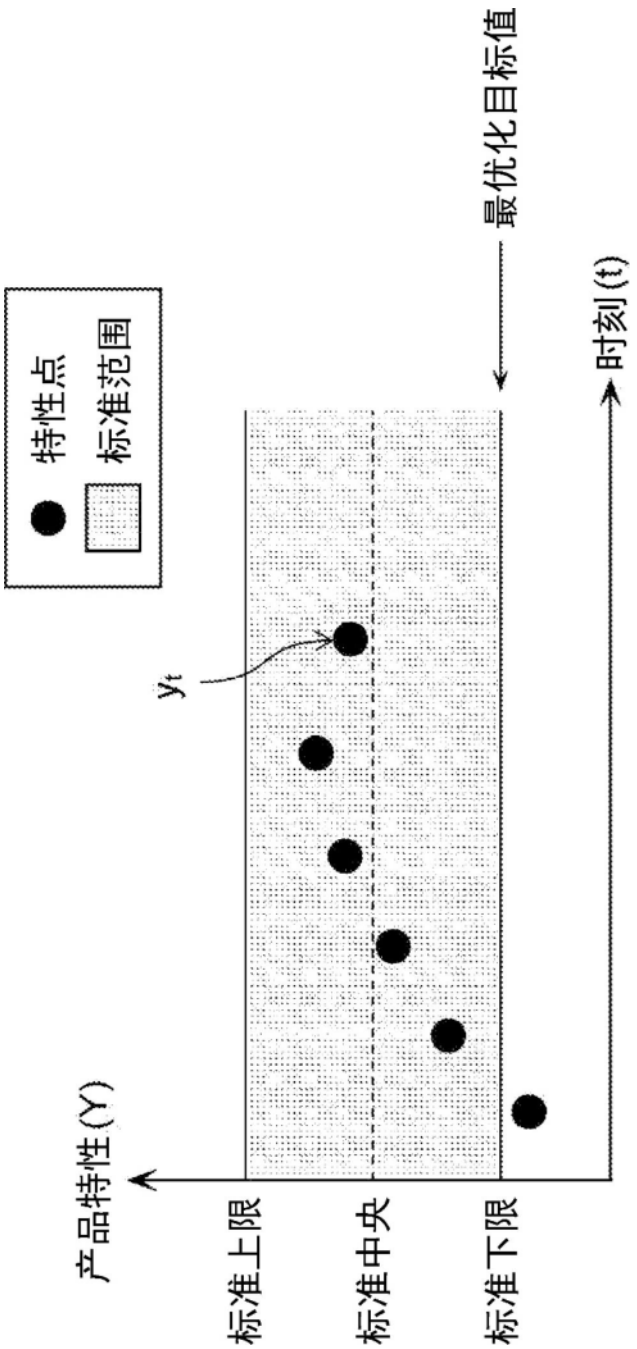


图35A

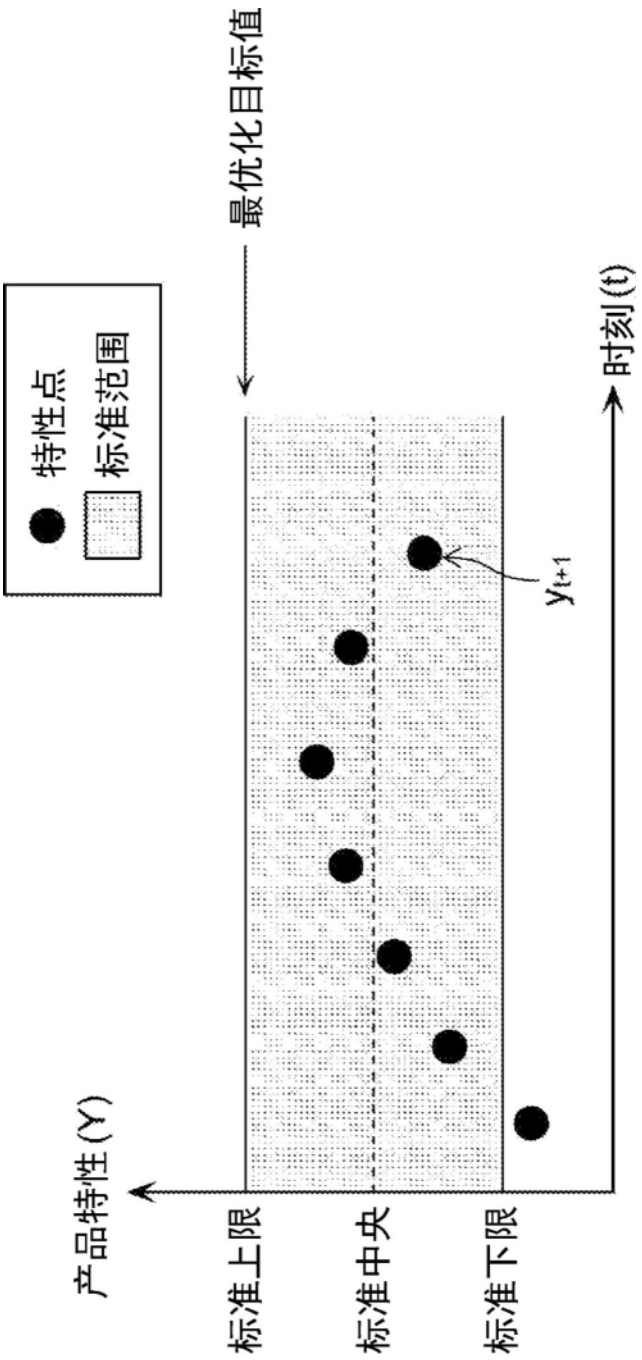


图35B

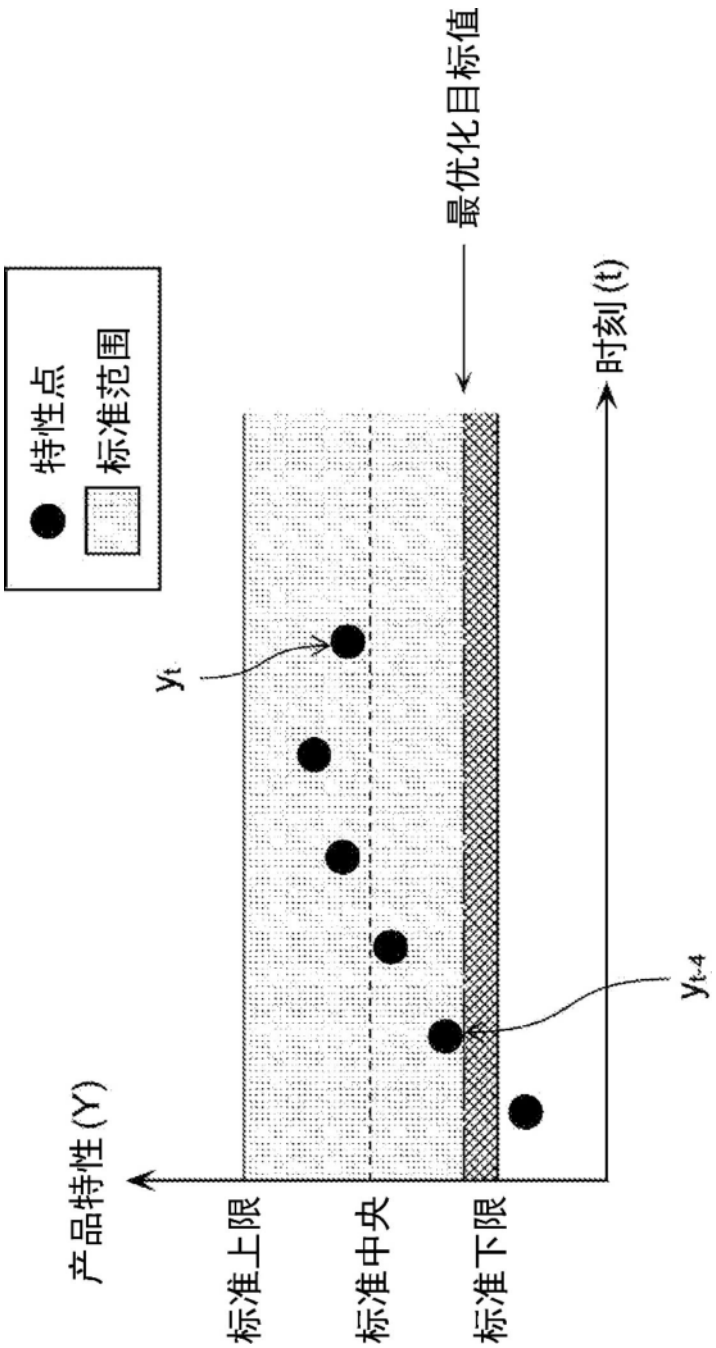


图36A

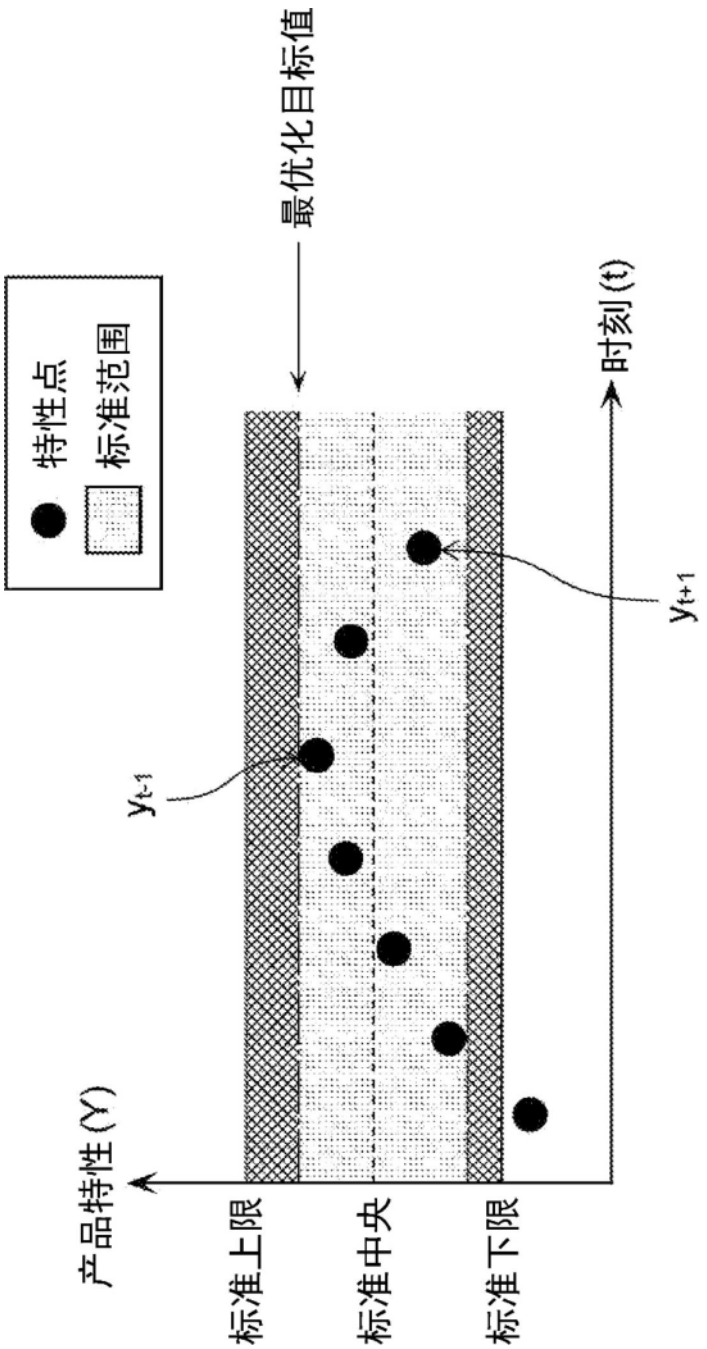


图36B

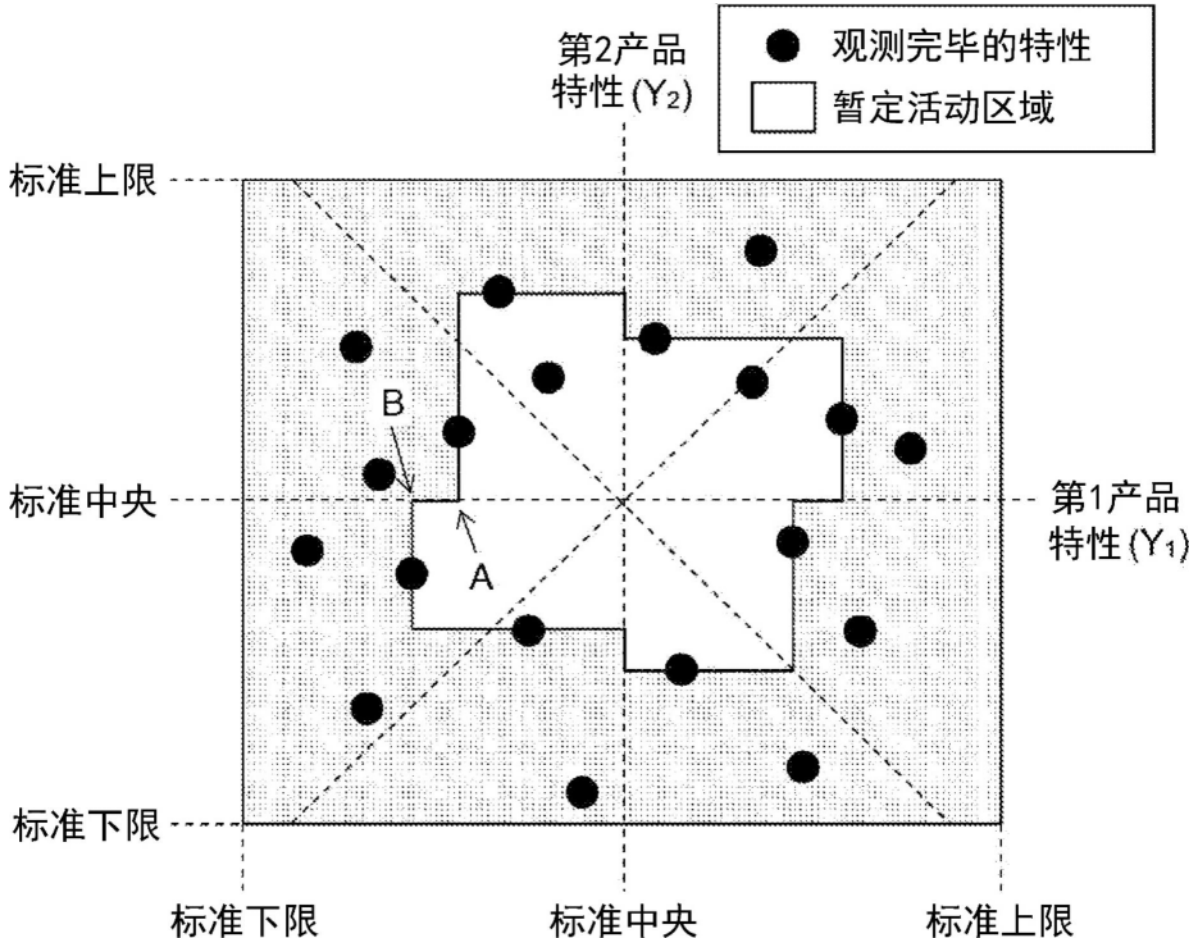

第2产品
特性 (Y2)
观测完毕的特性
暂定活动区域
标准上限
标准中央
标准下限
B
A
第1产品
特性 (Y1)
标准下限
标准中央
标准上限

图37

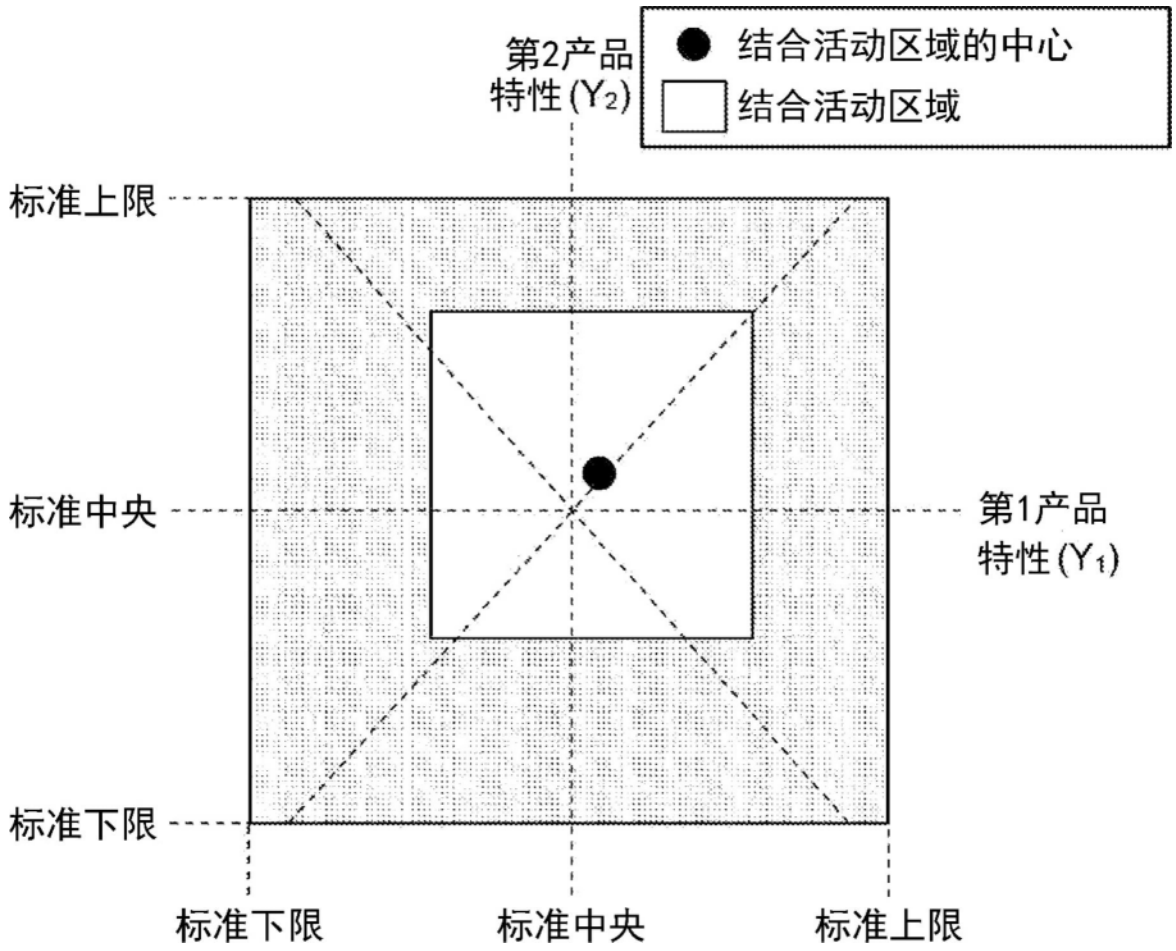

结合活动区域的中心
结合活动区域
第2产品特性(Y2)
标准上限
标准中央
标准下限
第1产品特性(Y1)
标准下限
标准中央
标准上限

图38A

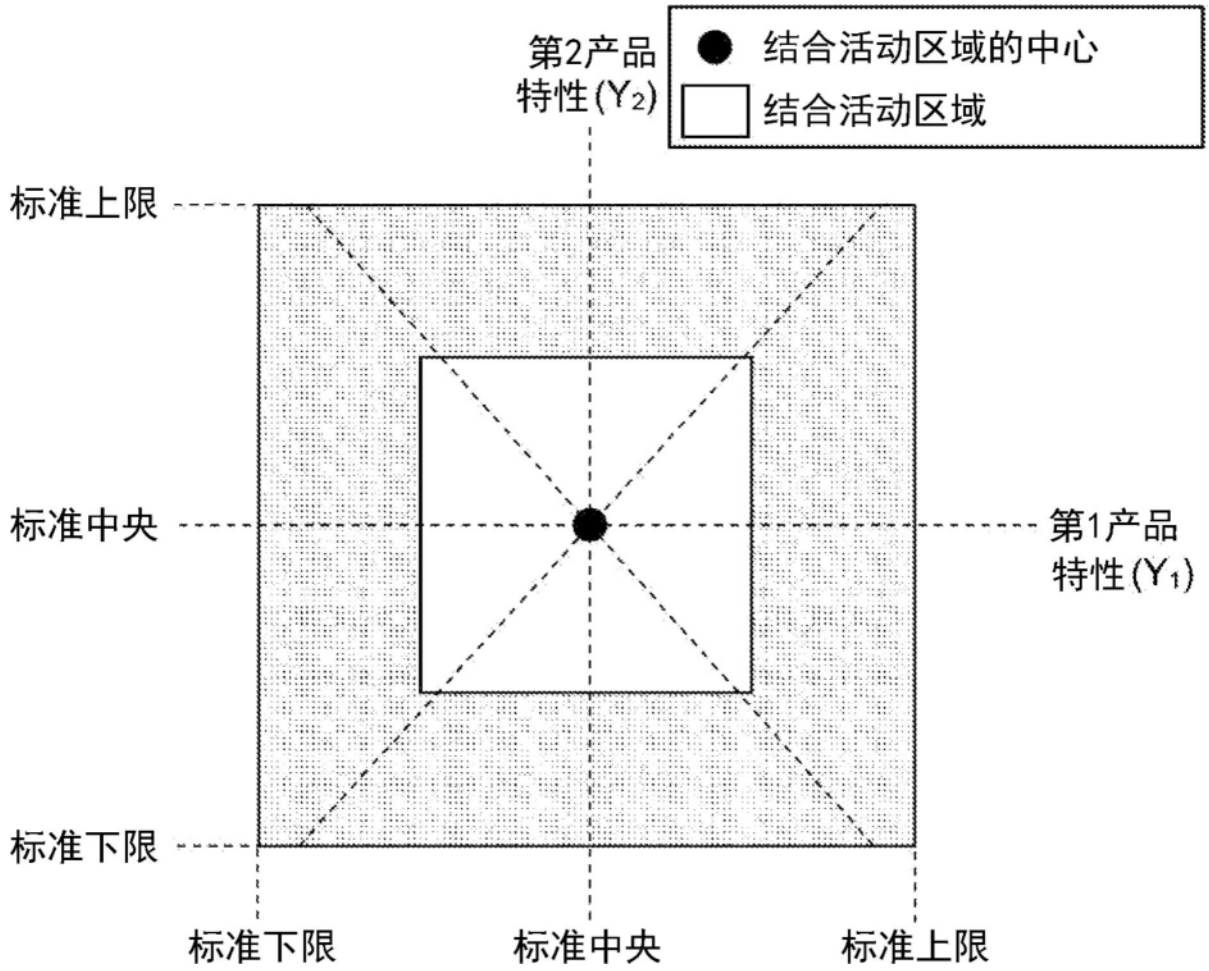

第2产品
特性(Y2)
结合活动区域的中心
结合活动区域
标准上限
标准中央
第1产品
特性(Y1)
标准下限
标准下限
标准中央
标准上限

图38B

控制编号	第1工艺条件	第2工艺条件	第1产品特性	第2产品特性	区域
1	0.98	1.04	0.9000	0.9605	标准外
2	0.94	1.92	0.9357	0.9782	标准外
3	1.14	1.88	1.0231	1.0125	标准外
4	0.94	2.08	1.0078	0.9684	标准外
5	0.74	2.28	0.9238	0.9275	标准外
6	0.54	2.48	0.8449	0.8640	标准外
7	0.34	2.68	0.7402	0.8008	标准外
8	0.54	2.88	0.8005	0.7502	标准外
9	0.74	2.08	0.9132	0.6955	标准外
10	0.94	2.28	1.0783	0.6272	标准外
11	1.14	2.48	1.2443	0.5481	区域3-1
12	1.19	2.53	1.3355	0.5239	区域3-2
13	1.24	2.58	1.3815	0.4908	标准外
14	1.44	2.38	1.4596	0.5164	区域2-2
15	1.39	2.33	1.4660	0.5321	区域2-2
16	1.34	2.28	1.4436	0.5567	区域2-1
17	1.29	2.23	1.4053	0.5790	区域2-2
18	1.24	2.18	1.3927	0.6030	区域4-1
19	1.26	2.20	1.3791	0.5923	区域3-1
20	1.28	2.18	1.3742	0.6179	区域4-1
21	1.30	2.20	1.3901	0.6008	区域4-1
22	1.32	2.22	1.4079	0.6173	区域1-2
23	1.34	2.24	1.4256	0.6051	区域1-1
24	1.36	2.26	1.4427	0.5865	区域2-1
25	1.34	2.24	1.4256	0.5831	区域2-1
26	1.32	2.22	1.4181	0.5951	区域2-1
27	1.30	2.20	1.3998	0.6074	区域4-2



图39

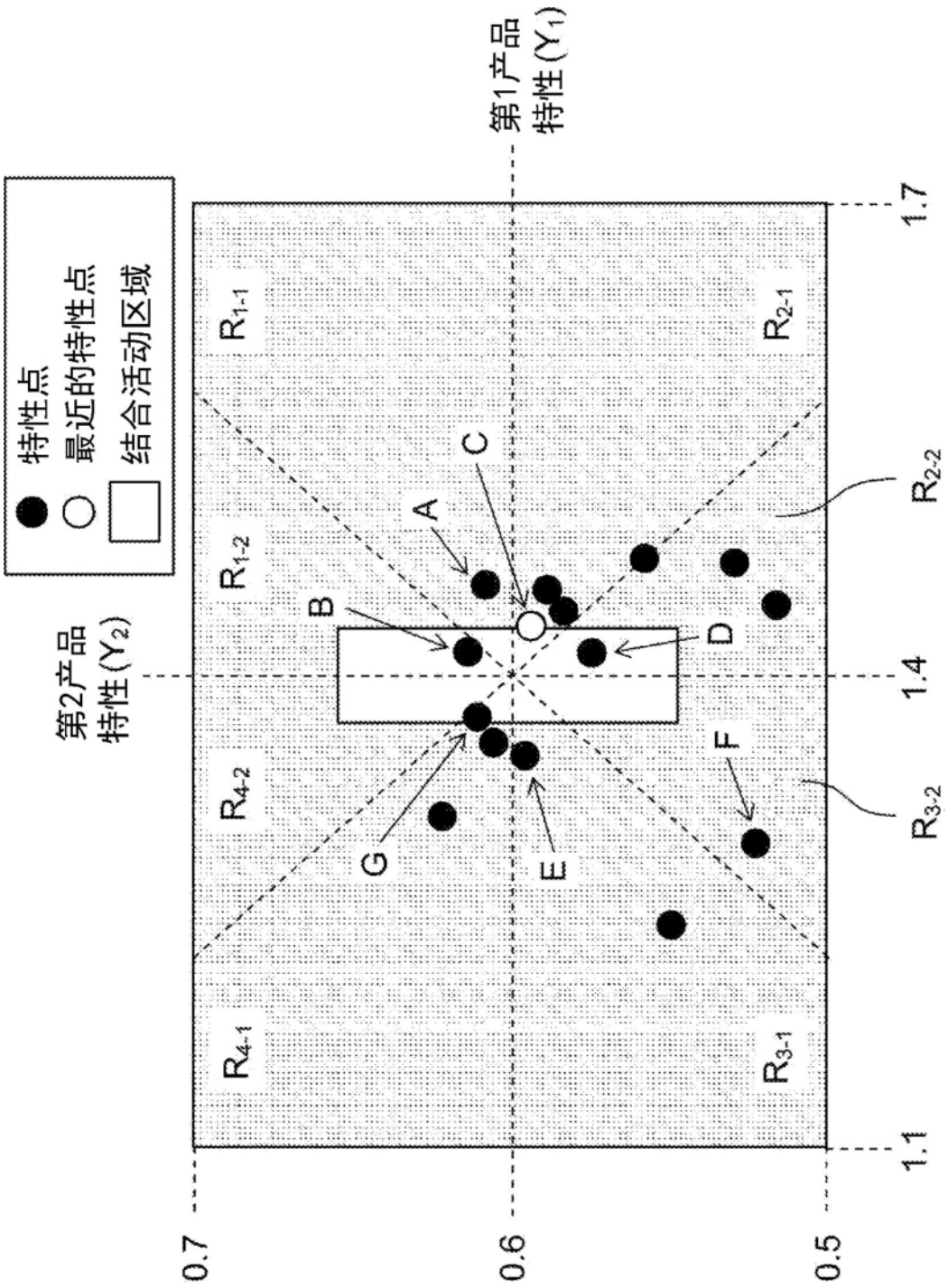

特性点
最近的特性点
结合活动区域
第1产品
特性(Y1)
第2产品
特性(Y2)
R1-1
R1-2
R2-1
R2-2
R3-1
R3-2
R4-1
R4-2
A
B
C
D
E
F
G
0.7
0.6
0.5
1.7
1.4
1.1

图40A

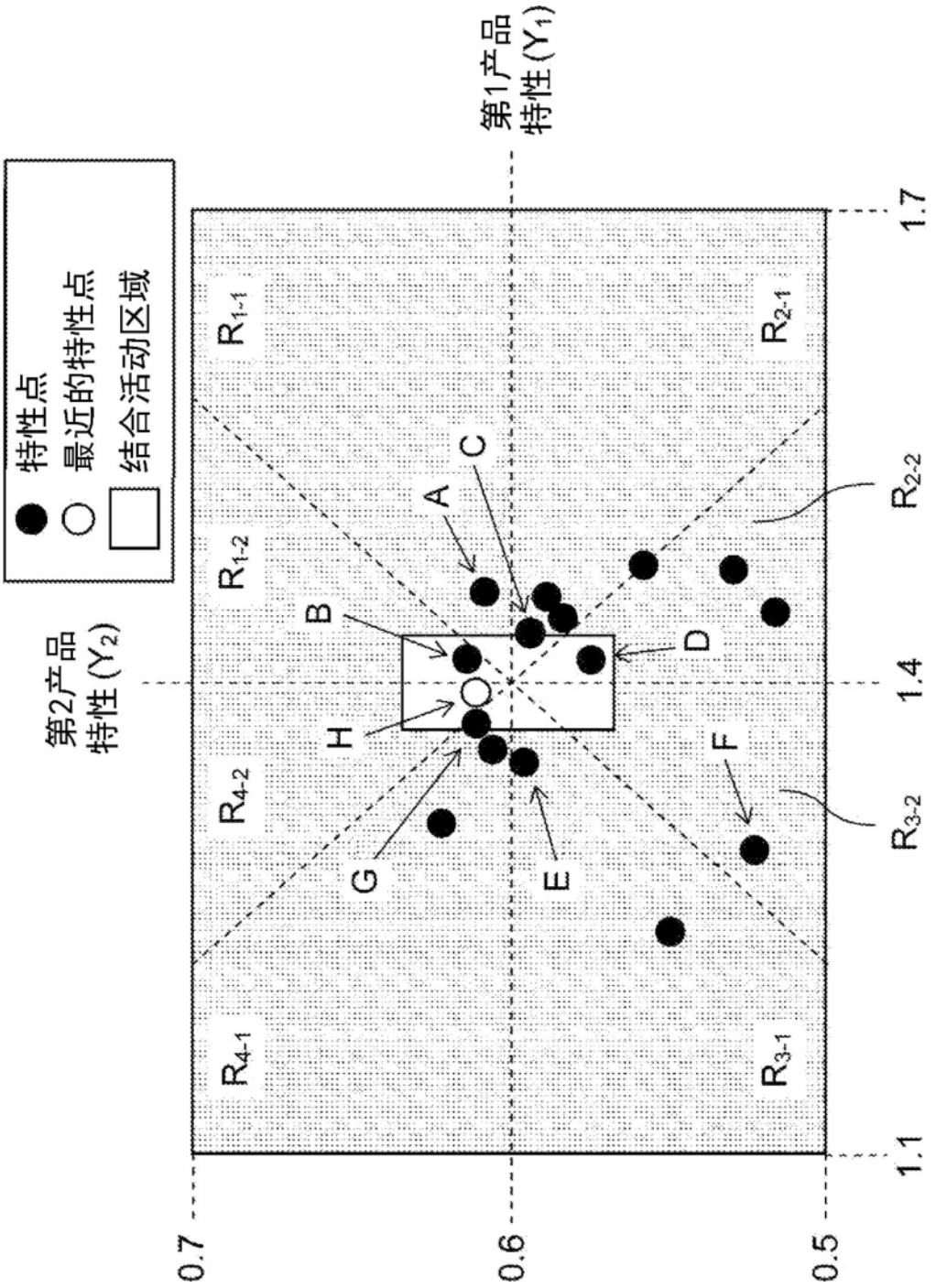

特性点
最近的特性点
结合活动区域
第1产品
特性 (Y1)
第2产品
特性 (Y2)
R1-1
R1-2
R2-1
R2-2
R3-1
R3-2
R4-1
R4-2
A
B
C
D
E
F
G
H
0.7
0.6
0.5
1.7
1.4
1.1

图40B