



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 118984752 A

(43) 申请公布日 2024. 11. 19

(21) 申请号 202280094126.2

(51) Int.Cl.

(22) 申请日 2022.04.12

B23K 26/00 (2014.01)

(85) PCT国际申请进入国家阶段日

2024.09.24

(86) PCT国际申请的申请数据

PCT/JP2022/017619 2022.04.12

(87) PCT国际申请的公布数据

W02023/199409 JA 2023.10.19

(71) 申请人 三菱电机株式会社

地址 日本东京

(72) 发明人 石川恭平 藤井健太 村冈宏树

(74) 专利代理机构 北京天昊联合知识产权代理

有限公司 11112

专利代理师 何立波 张天舒

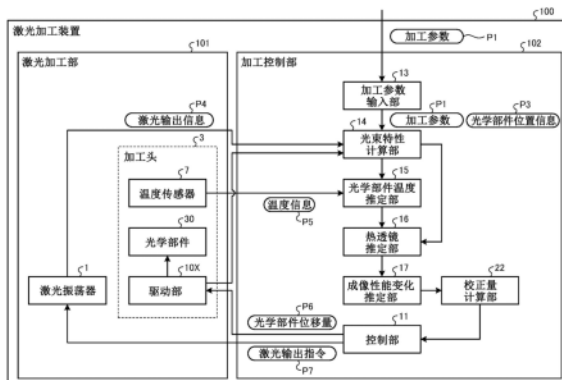
权利要求书4页 说明书22页 附图8页

(54) 发明名称

激光加工装置、控制装置、激光加工系统及
激光加工方法

(57) 摘要

激光加工装置(100)具有:光束特性计算部(14),其对向配置于加工头(3)的光学部件(30)照射的激光的光束特性进行计算;光学部件温度推定部(15),其基于由配置于加工头内的温度传感器(7)测量出的温度的信息即温度信息(P5)和光束特性,对光学部件的推定温度进行推定;热透镜推定部(16),其基于推定温度,对光学部件的热透镜量进行推定;成像性能变化推定部(17),其基于热透镜量,对加工头的成像光学系统的成像性能的从加工开始前起的变化量即推定成像性能变化量进行推定;校正量计算部(22),其基于推定成像性能变化量,对加工参数(P1)的校正量进行计算;以及控制部(11),其对使用了激光的激光加工进行控制,并且在激光加工中,基于校正量对加工参数进行变更。



1. 一种激光加工装置,其特征在于,具有:

光束特性计算部,其对向配置于加工头的光学部件照射的激光的光束特性进行计算;

温度推定部,其基于由配置于所述加工头内的温度传感器测量出的温度的信息即温度信息、和所述光束特性,对所述光学部件的推定温度进行推定;

热透镜推定部,其基于所述推定温度,对所述光学部件的热透镜量进行推定;

成像性能变化推定部,其基于所述热透镜量,对所述加工头的成像光学系统的成像性能的从加工开始前起的变化量即推定成像性能变化量进行推定;

校正量计算部,其基于所述推定成像性能变化量,对加工参数的校正量进行计算;以及

控制部,其对使用了所述激光的激光加工进行控制,并且在所述激光加工中,基于所述校正量对所述加工参数进行变更。

2. 根据权利要求1所述的激光加工装置,其特征在于,

所述成像性能变化推定部对所述成像光学系统的从加工开始前起的成像点的位置的变化量进行推定,而作为所述推定成像性能变化量。

3. 根据权利要求1或2所述的激光加工装置,其特征在于,

所述温度推定部按照时间序列在多个时刻对所述光学部件的温度进行推定,并且在对所推定温度进行推定时,基于比推定的时刻至少1步长前的时刻的所述光学部件的温度对所述光学部件的温度进行推定。

4. 根据权利要求1至3中任一项所述的激光加工装置,其特征在于,

所述温度推定部在所述激光的激光输出值在特定时间的期间小于特定值的情况下,将由所述温度传感器测量出的所述温度信息更新为最新的温度信息,基于所述最新的温度信息和所述光束特性对所述推定温度进行推定。

5. 根据权利要求1至4中任一项所述的激光加工装置,其特征在于,

还具有校正系数决定部,该校正系数决定部基于表示所述激光加工的种类的加工种类信息,决定对所述推定成像性能变化量进行校正的校正系数,

所述校正量计算部使用所述校正系数对所述推定成像性能变化量进行校正,基于校正后的所述推定成像性能变化量对所述校正量进行计算。

6. 根据权利要求5所述的激光加工装置,其特征在于,

所述加工种类信息包含有被加工物的材质、所述被加工物的板厚及在所述激光加工中使用的加工气体的种类的至少1个信息。

7. 根据权利要求1至6中任一项所述的激光加工装置,其特征在于,

所述温度传感器安装于对所述光学部件进行抓持的抓持部。

8. 根据权利要求1至7中任一项所述的激光加工装置,其特征在于,

所述温度推定部具有第1机器学习装置,

所述第1机器学习装置具有:

第1数据取得部,其取得第1状态量,该第1状态量包含所述温度信息之中的第1温度信息和所述光束特性之中的第1光束特性;以及

第1学习部,其对基于所述第1状态量而推定所述推定温度的情况进行学习,生成第1训练好的模型,基于包含所述温度信息之中的第2温度信息和所述光束特性之中的第2光束特性在内的第2状态量及所述第1训练好的模型,对与所述第2状态量相对应的所述推定温度

进行推定。

9. 根据权利要求1至8中任一项所述的激光加工装置,其特征在于,

所述热透镜推定部具有第2机器学习装置,

所述第2机器学习装置具有:

第2数据取得部,其取得包含所述推定温度之中的第1推定温度的第3状态量;以及

第2学习部,其对基于所述第3状态量而推定所述热透镜量的情况进行学习,生成第2训练好的模型,基于包含所述推定温度之中的第2推定温度的第4状态量及所述第2训练好的模型,对与所述第4状态量相对应的所述热透镜量进行推定。

10. 根据权利要求1至9中任一项所述的激光加工装置,其特征在于,

所述成像性能变化推定部具有第3机器学习装置,

所述第3机器学习装置具有:

第3数据取得部,其取得包含所述热透镜量之中的第1热透镜量的第5状态量;以及

第3学习部,其对基于所述第5状态量而推定所述推定成像性能变化量的情况进行学习,生成第3训练好的模型,基于包含所述热透镜量之中的第2热透镜量的第6状态量及所述第3训练好的模型,对与所述第6状态量相对应的所述推定成像性能变化量进行推定。

11. 根据权利要求1至10中任一项所述的激光加工装置,其特征在于,

所述校正量计算部具有第4机器学习装置,

所述第4机器学习装置具有:

第4数据取得部,其取得包含所述推定成像性能变化量之中的第1推定成像性能变化量的第7状态量;以及

第4学习部,其对基于所述第7状态量而推定所述校正量的情况进行学习,生成第4训练好的模型,基于包含所述推定成像性能变化量之中的第2推定成像性能变化量的第8状态量及所述第4训练好的模型,对与所述第8状态量相对应的所述校正量进行推定。

12. 一种激光加工装置,其特征在于,具有:

数据取得部,其取得第1状态量,该第1状态量包含对配置于加工头的光学部件照射的激光的第1输出值、和由配置于所述加工头内的温度传感器测量出的温度的信息即第1温度信息;

学习部,其对基于所述第1状态量而推定加工参数的校正量的情况进行学习,生成训练好的模型,基于包含所述激光的第2输出值和由所述温度传感器测量出的温度的信息即第2温度信息在内的第2状态量及所述训练好的模型,对与所述第2状态量相对应的所述校正量进行推定;以及

控制部,其对使用了所述激光的激光加工进行控制,并且在所述激光加工中,基于所述校正量对所述加工参数进行变更。

13. 一种控制装置,其特征在于,具有:

光束特性计算部,其对向配置于加工头的光学部件照射的激光的光束特性进行计算;

温度推定部,其基于由配置于所述加工头内的温度传感器测量出的温度的信息即温度信息和所述光束特性,对所述光学部件的推定温度进行推定;

热透镜推定部,其基于所述推定温度,对所述光学部件的热透镜量进行推定;

成像性能变化推定部,其基于所述热透镜量,对所述加工头的成像光学系统的成像性

能的从加工开始前起的变化量即推定成像性能变化量进行推定；

校正量计算部,其基于所述推定成像性能变化量,对加工参数的校正量进行计算;以及
控制部,其对使用了所述激光的激光加工进行控制,并且在所述激光加工中,基于所述校正量对所述加工参数进行变更。

14.一种激光加工系统,其特征在于,具有:

激光加工部,其从配置有光学部件的加工头对被加工物照射激光,进行向所述被加工物的激光加工;以及

加工控制部,其对所述激光加工部进行控制,

所述激光加工部具有:

激光振荡器,其振荡所述激光;以及

温度传感器,其配置于所述加工头内,对所述加工头内的温度进行测量,

所述加工控制部具有:

光束特性计算部,其对向所述光学部件照射的所述激光的光束特性进行计算;

温度推定部,其基于由所述温度传感器测量出的温度的信息即温度信息和所述光束特性,对所述光学部件的推定温度进行推定;

热透镜推定部,其基于所述推定温度,对所述光学部件的热透镜量进行推定;

成像性能变化推定部,其基于所述热透镜量,对所述加工头的成像光学系统的成像性能的从加工开始前起的变化量即推定成像性能变化量进行推定;

校正量计算部,其基于所述推定成像性能变化量,对加工参数的校正量进行计算;以及
控制部,其对使用了所述激光的所述激光加工进行控制,并且在所述激光加工中基于所述校正量对所述加工参数进行变更。

15.一种激光加工方法,其特征在于,包含:

激光加工步骤,激光加工部从配置有光学部件的加工头对被加工物照射激光,进行向所述被加工物的激光加工;以及

加工控制步骤,加工控制部对所述激光加工部进行控制,

所述激光加工步骤包含:

激光振荡步骤,激光振荡器振荡所述激光;以及

温度测量步骤,配置于所述加工头内的温度传感器对所述加工头内的温度进行测量,

所述加工控制步骤包含:

光束特性计算步骤,所述加工控制部对向所述光学部件照射的所述激光的光束特性进行计算;

温度推定步骤,所述加工控制部基于由所述温度传感器测量出的温度的信息即温度信息和所述光束特性,对所述光学部件的推定温度进行推定;

热透镜推定步骤,所述加工控制部基于所述推定温度,对所述光学部件的热透镜量进行推定;

成像性能变化推定步骤,所述加工控制部基于所述热透镜量,对所述加工头的成像光学系统的成像性能的从加工开始前起的变化量即推定成像性能变化量进行推定;

校正量计算步骤,所述加工控制部基于所述推定成像性能变化量,对加工参数的校正量进行计算;以及

控制步骤,所述加工控制部对使用了所述激光的所述激光加工进行控制,并且在所述激光加工中,基于所述校正量对所述加工参数进行变更。

激光加工装置、控制装置、激光加工系统及激光加工方法

技术领域

[0001] 本发明涉及进行激光加工的激光加工装置、控制装置、激光加工系统及激光加工方法。

背景技术

[0002] 将激光照射至被加工物而进行被加工物的激光加工的激光加工装置,通过加工头内所包含的光学部件将激光聚光于特定的位置,将聚光后的激光照射至被加工物。在如上所述的激光加工装置中,光学部件吸收激光,由此会产生光学部件的折射率发生变化的热透镜效应。因此,在激光加工装置中,激光的成像性能会变化,尽管在加工开始时是良好的加工,但有时随着加工进行而产生加工不良。

[0003] 专利文献1所记载的激光加工装置,与由设置于透镜的温度传感器检测出的透镜温度相应地,由驱动电动机使透镜向光轴方向移动,由此对激光束的焦点位置进行调节。

[0004] 专利文献1:日本特开2000—94173号公报

发明内容

[0005] 但是,在上述专利文献1的技术中,由于仅与透镜温度相应地使透镜向光轴方向移动,因此无法考虑到成像光学系统的成像性能的变化为止,存在抑制激光加工品质的劣化不充分这一问题。

[0006] 本发明就是鉴于上述情况而提出的,其目的在于,得到能够充分地抑制激光加工品质的劣化的激光加工装置。

[0007] 为了解决上述课题,并达到目的,本发明的激光加工装置具有:光束特性计算部,其对向配置于加工头的光学部件照射的激光的光束特性进行计算;以及温度推定部,其基于由配置于加工头内的温度传感器测量出的温度的信息即温度信息和光束特性,对光学部件的推定温度进行推定。另外,本发明的激光加工装置具有:热透镜推定部,其基于推定温度,对光学部件的热透镜量进行推定;以及成像性能变化推定部,其基于热透镜量,对加工头的成像光学系统的成像性能的从加工开始前起的变化量即推定成像性能变化量进行推定。另外,本发明的激光加工装置具有:校正量计算部,其基于推定成像性能变化量,对加工参数的校正量进行计算;以及控制部,其对使用了激光的激光加工进行控制,并且在激光加工中基于校正量对加工参数进行变更。

[0008] 发明的效果

[0009] 本发明所涉及的激光加工装置,具有能够充分地抑制激光加工品质的劣化这一效果。

附图说明

[0010] 图1是表示实施方式1所涉及的激光加工装置的结构图。

[0011] 图2是用于对实施方式1所涉及的激光加工装置的加工头所包含的光学部件的配

置结构进行说明的图。

[0012] 图3是用于对在实施方式1所涉及的激光加工装置中产生的热透镜效应进行说明的图。

[0013] 图4是表示实施方式1所涉及的激光加工装置的功能结构的框图。

[0014] 图5是表示通过实施方式1所涉及的激光加工装置的加工控制部进行的加工控制的处理顺序的流程图。

[0015] 图6是表示实施方式2所涉及的激光加工装置的功能结构的框图。

[0016] 图7是表示实施方式3所涉及的激光加工装置的功能结构的框图。

[0017] 图8是表示实施方式4所涉及的激光加工装置的功能结构的框图。

[0018] 图9是表示实施方式4所涉及的神经网络模型的结构例的图。

[0019] 图10是表示将实施方式1~4所涉及的加工控制部所具有的处理电路通过处理器及存储器实现的情况下的处理电路的结构例的图。

[0020] 图11是表示将实施方式1~4所涉及的加工控制部所具有的处理电路通过专用的硬件构成的情况下的处理电路的例子图。

具体实施方式

[0021] 下面,基于附图对本发明的实施方式所涉及的激光加工装置、控制装置、激光加工系统及激光加工方法详细地进行说明。

[0022] 实施方式1.

[0023] 图1是表示实施方式1所涉及的激光加工装置的结构图。下面,将与板状的被加工物即工件W的上表面平行的面内的2个轴且彼此正交的2个轴设为X轴及Y轴。另外,将与X轴及Y轴正交的轴设为Z轴。例如,XY平面是水平面,Z轴方向是与铅垂方向平行的方向。此外,工件W并不限于板状。

[0024] 激光加工装置100是将作为激光束的激光L照射至工件W而进行工件W的激光加工的装置。激光加工装置100通过加工头3内所包含的光学部件使激光L聚光,将聚光后的激光L照射至工件W,由此对工件W进行加工。

[0025] 激光加工装置100具有激光振荡器1、控制部11、光纤2和加工头3。加工头3具有准直透镜4、成像光学系统5、2个光学部件保持架6、2个温度传感器7、保护玻璃8、加工嘴9和作为电动机驱动装置的驱动部10A~10C。

[0026] 控制部11与激光振荡器1及加工头3连接,对激光振荡器1及加工头3进行控制。控制部11配置于后面记述的加工控制部102(在图1中未图示)。激光振荡器1使激光L振荡。光纤2对由激光振荡器1振荡产生的激光L进行传送,而传送至加工头3内。

[0027] 在加工头3中,配置于上部侧的光学部件保持架6对准直透镜4进行支撑,配置于下部侧的光学部件保持架6对成像光学系统5进行支撑。在各光学部件保持架6配置有温度传感器7。

[0028] 准直透镜4将激光L设为平行光而传送至成像光学系统5。成像光学系统5使激光L成像于特定的位置。经过成像光学系统5后的激光L经由保护玻璃8而传送至加工嘴9。保护玻璃8对配置于加工头3内的部件等进行保护而免受激光加工时的飞沫影响。

[0029] 加工嘴9将经过保护玻璃8后的激光L照射至工件W上的照射位置。对加工头3的内

部供给加工气体。加工头3在将激光L向工件W照射时,将加工气体向工件W喷射。加工嘴9在成像光学系统5和工件W之间的激光L的光路上具有开口部,激光L及加工气体经过该开口部。

[0030] 在激光加工装置100中,配置有使加工头3在Z轴方向移动的Z轴电动机(未图示)、和对Z轴电动机进行驱动的驱动部10A。Z轴电动机与设置加工头3的轴(在Z轴方向延伸的轴)连接,沿Z轴使加工头3在与Z轴方向平行的方向移动。

[0031] 另外,在激光加工装置100中,配置有使载置工件W的加工工作台(未图示)在XY平面内移动的X轴电动机(未图示)及Y轴电动机(未图示)、使X轴电动机进行驱动的驱动部(未图示)、以及使Y轴电动机进行驱动的驱动部(未图示)。X轴电动机与在X轴方向延伸的轴连接,Y轴电动机与在Y轴方向延伸的轴连接。X轴电动机及Y轴电动机沿X轴及Y轴使加工工作台在XY平面内移动。

[0032] 控制部11基于与激光加工相关的数值参数即加工参数,对激光振荡器1、加工头3、驱动部10A~10C等进行控制而执行加工。例如控制部11对驱动部10A~10C进行控制,驱动部10A~10C按照控制部11的控制对电动机进行驱动。驱动部10A伴随电动机的动作而动作,对加工头3和工件W的相对位置进行变更。在图1中,图示出驱动部10A使加工头3移动由此对加工头3和工件W的相对位置进行变更的情况。

[0033] 驱动部10B、10C对激光L的成像光学系统5的成像位置和工件W之间的位置关系进行变更。驱动部10B是准直透镜4的驱动部,对准直透镜4的位置进行变更,由此对成像光学系统5的成像直径进行变更。驱动部10C是成像光学系统5的驱动部,对成像光学系统5的位置进行变更,由此对成像光学系统5的成像位置进行变更。

[0034] 激光振荡器1的种类不受限定。激光振荡器1的一个例子是通过光纤2传送激光L的光纤激光振荡器。激光振荡器1也可以是直接二极管激光器、碳酸气体激光器、铜蒸汽激光器、各种离子激光器、将YAG(Yttrium Aluminum Garnet)晶体等设为激励介质的固体激光器。另外,激光加工装置100也可以具有对由激光振荡器1振荡出的激光L的波长进行变换的波长变换部。

[0035] 另外,准直透镜4可以是1片,也可以是多片。另外,成像光学系统5可以是1片,也可以是多片。另外,配置于加工头3的光学系统可以是使光学系统的位置位移,由此使成像点的成像直径变化的变焦光学系统。另外,配置于加工头3的光学系统可以由驱动部使准直透镜4位移而对向成像光学系统5射入的发散角进行调整,由此使成像位置位移的光学系统。另外,由驱动部10C变更的成像位置可以处于光学系统的光束腰位置,也可以是从光束腰位置偏离的位置。

[0036] 激光加工装置100可以不使加工嘴9的高度方向的位置和工件W的高度方向的位置之间的关系变化,而是使激光L的成像点的位置和工件W的高度方向的位置之间的关系变化。在该情况下,控制部11对驱动部10C进行控制,由此驱动部10C使成像光学系统5的高度方向的位置变化。

[0037] 此外,在加工头3中,也可以是驱动部10B、10C以外的驱动部对成像光学系统5以外的其他光学部件进行驱动。由加工头3驱动的光学部件可以为1种,也可以为多种。实施方式1中的光学部件是准直透镜4、成像光学系统5及保护玻璃8,但也可以在加工头3内配置反射镜等光学部件。

[0038] 根据以上的结构,从光纤2射出的激光L经过准直透镜4,由成像光学系统5成像,经过保护玻璃8,由此照射至作为加工对象物的工件W。由此,工件W由激光L进行加工。

[0039] 在这里,对加工头3所包含的光学部件的配置结构进行说明。图2是用于对实施方式1所涉及的激光加工装置的加工头所包含的光学部件的配置结构进行说明的图。在这里,对准直透镜4的配置结构进行说明,但成像光学系统5的配置结构也与准直透镜4的配置结构相同。

[0040] 如图2所示,准直透镜4等光学部件由作为抓持部的一个例子的透镜保持架这样的光学部件保持架6抓持。抓持部由对准直透镜4等透镜进行抓持的光学部件保持架6、或者对反射镜(未图示)进行抓持的反射镜保持架(未图示)等抓持光学部件的部件构成。

[0041] 另外,在光学部件保持架6配置有温度传感器7。温度传感器7的例子是热电偶、热敏电阻。另外,光学部件保持架6如图2所示,可以具有用于对光学部件保持架6进行冷却的水路12。在光学部件保持架6具有水路12的情况下,通过在水路12流动冷却水从而对光学部件进行冷却。此外,也可以在对成像光学系统5进行抓持的光学部件保持架6设置水路12。

[0042] 接下来,对在激光加工中发生的成像性能变化的一个要因即热透镜效应所引起的成像点的位置偏差进行说明。图3是用于对在实施方式1所涉及的激光加工装置中产生的热透镜效应进行说明的图。在图3中,在左侧示出了加工开始时的成像点位置D1,在右侧示出了加工开始后的成像点位置D2。

[0043] 在激光加工装置100中,在透镜等的透过光学系统或者如反射镜那样的反射光学系统中,光学部件的玻璃材料或者涂层对由激光振荡器1振荡出的激光L进行吸收。由此,在激光加工装置100中,光学部件的折射率(折射率的分布)变化,产生热透镜效应。另外,在光学部件中形成温度分布的时间会根据光学部件的材料、被照射的光束直径而改变。

[0044] 如图3所示,在激光加工装置100中,在加工开始时和加工开始后,有时成像点处的激光L的成像位置发生变化。例如如图3的左侧所示,激光加工装置100在加工开始时,成像点位于工件W的表面上,进行了良好加工。但是,激光加工装置100随着加工进行,如图3的右侧所示,有时成像位置变化而成像点从工件W的表面上向加工头3的方向移动,由此发生加工不良。

[0045] 此外,加工为良好加工的条件并不限于成像点处于工件W上的情况。成像点位于比工件W上靠加工头3侧有时也会成为良好加工,成像点位于工件W的深度方向侧有时也会成为良好加工。

[0046] 另外,由于产生热透镜效应,因此不仅发生成像位置的变化,有时还产生成像倍率、光束腰位置、像差等,加工光学系统整体的成像性能发生劣化。

[0047] 实施方式1的激光加工装置100,即使在产生热透镜效应的情况下,也考虑加工头3内所包含的温度传感器7而准确地推定光学部件的温度。而且,激光加工装置100基于推定出的光学部件的温度,准确地推定成像性能的从加工开始前起的变化量(以下,称为成像性能变化量),决定与成像性能变化量相对应的加工参数的校正量而对加工参数进行校正。加工参数的例子是成像倍率、加工嘴9从工件W起的高度(加工嘴9和工件W之间的距离)、成像光学系统5的成像位置和Z轴方向的工件W的位置之间的位置关系、光学部件彼此的位置关系、加工速度、激光输出值、激光L的脉冲频率、激光L的脉冲的占空比、加工嘴直径、激光束模式的种类、加工嘴孔的中心和激光束之间的位置关系等。

[0048] 此外,在加工参数中,存在切断速度、成像位置、激光输出等具有一定的加工裕度的参数。在这里,加工裕度是指即使变更加工参数,也能够达到相同的加工品质的范围(加工参数的变更范围)。

[0049] 实施方式1的激光加工装置100,考虑到成像光学系统5的成像性能的变化为止而对加工参数进行校正,因此能够充分地抑制激光加工品质的劣化。另外,在激光加工装置100中,温度传感器7安装于对光学部件进行抓持的抓持部(光学部件保持架6)。由此,激光加工装置100能够推定加工头3内所包含的吹扫气体和光学部件保持架6的冷却效果对光学部件给予的导热的影响。因此,激光加工装置100能够对加工头3的温度变化等状态变化进行推定,能够详细地、实时地对成像性能变化量进行推定。

[0050] 接下来,对激光加工装置100的功能结构进行说明。图4是表示实施方式1所涉及的激光加工装置的功能结构的框图。激光加工装置100具有激光加工部101和作为控制装置的加工控制部102。此外,激光加工部101和加工控制部102也可以经由网络等连接。

[0051] 激光加工部101具有激光振荡器1、光纤2(在图4中省略图示)和加工头3。加工头3具有温度传感器7、光学部件30和驱动部10X。光学部件30是准直透镜4、成像光学系统5等。驱动部10X是驱动部10B、10C等。此外,在图4中,省略了光学部件保持架6、保护玻璃8、加工嘴9及驱动部10A的图示。

[0052] 加工控制部102具有加工参数输入部13、光束特性计算部14、光学部件温度推定部15、热透镜推定部16、成像性能变化推定部17、校正量计算部22和控制部11。

[0053] 加工参数输入部13接收从激光加工装置100的外部输入的加工参数P1而输出至光束特性计算部14。此外,由加工参数输入部13接收的加工参数P1和由控制部11校正的加工参数P1可以是不同的加工参数。

[0054] 光束特性计算部14对从加工参数输入部13发送来的加工参数P1进行接收。另外,光束特性计算部14对从搭载于激光振荡器1的输出监视器发送来的激光输出信息P4进行接收。激光输出信息P4是表示激光L的输出值的信息。

[0055] 此外,光束特性计算部14也可以从由加工参数输入部13输出的加工参数P1提取激光输出信息P4。另外,光束特性计算部14也可以根据从控制部11向激光振荡器1实际输出的激光输出指令P7对激光输出信息P4进行计算。

[0056] 光束特性计算部14从经由加工参数输入部13接收到的加工参数P1,对表示光学部件30的位置的光学部件位置信息P3进行提取。光束特性计算部14使用激光输出信息P4及光学部件位置信息P3进行光线追踪,由此对照射至各光学部件30的激光L的光束直径、入射角、来自光学部件30的出射角及光束强度之中的1个或者多个光束特性进行计算。光束特性计算部14将计算出的光束特性输出至光学部件温度推定部15。另外,光束特性计算部14将光学部件位置信息P3(透镜位置等)及计算出的光束直径输出至热透镜推定部16。

[0057] 此外,光束特性计算部14也可以根据驱动部10X实际向光学部件30或者光学部件保持架6输出的位置指令对光学部件位置信息P3进行计算。

[0058] 另外,光束特性计算部14也可以根据控制部11向驱动部10X实际输出的驱动指令(用于使光学部件30移动的指令)对光学部件位置信息P3进行计算。另外,光束特性计算部14也可以根据加工参数P1所包含的成像倍率、加工嘴9从工件W起的高度、成像位置和工件W之间的位置关系等对光学部件位置信息P3进行计算。

[0059] 光学部件温度推定部15从光束特性计算部14对各光学部件30的光束特性进行接收,并且从配置于加工头3内的温度传感器7对温度信息P5进行接收。温度信息P5是光学部件30的温度的信息。光学部件温度推定部15基于接收到的温度信息P5及光束特性,对光学部件30的温度分布(推定温度)进行推定。具体地说,光学部件温度推定部15考虑光学部件30通过吸收激光L所产生的加热效果、通过光学部件保持架6的水路12得到的冷却效果和加工头3内的气氛的冷却效果,由此对光学部件30的温度分布进行推定。此外,光学部件温度推定部15只要关于光学部件30分别对光学部件30的表面或者内部的至少1点的温度进行推定即可。光学部件温度推定部15将计算出的光学部件30的温度分布输出至热透镜推定部16。关于温度分布的计算方法,在后面记述。

[0060] 热透镜推定部16基于从光学部件温度推定部15接收到的信息及从光束特性计算部14接收到的信息,对各光学部件30的热透镜量进行推定。具体地说,热透镜推定部16基于光学部件30的温度分布、光学部件位置信息P3及光束直径,对各光学部件30的热透镜量进行推定。热透镜推定部16对热透镜量进行计算而作为具有焦距的假想的透镜。热透镜推定部16将计算出的热透镜量输出至成像性能变化推定部17。

[0061] 成像性能变化推定部17从热透镜推定部16对各光学部件30的热透镜量进行接收。成像性能变化推定部17基于各光学部件30的热透镜量,对工件W中的成像性能变化量(推定成像性能变化量)进行推定。具体地说,成像性能变化推定部17鉴于加工头3的加工光学系统对成像性能变化量进行推定,由此对工件W中的成像性能变化量进行推定。成像性能变化量是成像性能的加工开始前和加工开始后的变化量。

[0062] 即,在这里的成像性能变化量是加工开始时的成像性能成为基准。加工开始时可以是加工程序开始时,也可以是在激光输出信息P4中的激光输出值成为0[W]而经过特定时间后,激光输出信息P4中的激光输出成为特定值的定时。成像性能变化推定部17将推定出的成像性能变化量输出至校正量计算部22。

[0063] 校正量计算部22基于接收到的成像性能变化量,对用于将成像性能恢复为加工开始前的状态的校正量进行计算。校正量例如是用于对光学部件30的位置进行校正的位置校正量。换言之,校正量是用于对成像性能进行校正的校正量。

[0064] 校正量计算部22将计算出的校正量输出至控制部11。控制部11基于校正量,对激光振荡器1及加工头3的至少1个进行控制,以使得成像性能的评价值成为恒定。控制部11在对激光振荡器1进行控制时,对激光振荡器1输出激光输出指令P7。控制部11在对加工头3内的光学部件30进行控制时,对驱动部10X输出光学部件位移量P6。此外,控制部11也可以基于校正量对加工头3的位置进行调整,以使得成像性能的评价值成为恒定。

[0065] 控制部11例如使用通过加工程序指定出的向光学部件30的位置指令和光学部件30的位置指令的校正量,输出用于对光学部件30的位置进行控制的光学部件位移量P6。在光学部件位移量P6中,包含有用于对准直透镜4的位置进行控制的指令、用于对成像光学系统5的位置进行控制的指令等。

[0066] 另外,控制部11例如使用通过加工程序指定出的向激光振荡器1的激光L的输出指令和激光L的输出指令的校正量,输出用于对激光振荡器1的激光输出进行控制的激光输出指令P7。在激光输出指令P7中,包含有激光输出值、激光L的脉冲频率、激光L的脉冲的占空比、激光束模式的种类等。

[0067] 成像点的位置的从加工开始起的变化量越小,则成像性能的评价值变得越高。即,成像性能的评价值是以加工开始时为基准的成像点的位置的变化量。因此,控制部11通过对光学部件30的位置进行调整以使得成像性能的评价值成为恒定,从而维持加工开始时的成像性能。

[0068] 此外,控制部11也可以通过对为了校正成像性能而调整后的加工参数P1以外的加工参数进行调整,从而维持良好加工。另外,控制部11并不限于对加工参数P1进行调整以使得成像性能的评价值成为恒定的情况,也可以对加工参数P1进行调整以使得评价值落在特定范围内。例如如果是成像位置,则特定范围内是成像位置的变化量的裕度。

[0069] 图5是表示通过实施方式1所涉及的激光加工装置的加工控制部进行的加工控制的处理顺序的流程图。光束特性计算部14取得加工参数P1及激光输出信息P4(步骤S10)。具体地说,光束特性计算部14从加工参数输入部13取得加工参数P1,从搭载于激光振荡器1的输出监视器取得激光输出信息P4。

[0070] 光束特性计算部14从经由加工参数输入部13所取得的加工参数P1,对表示光学部件30的位置的光学部件位置信息P3进行提取。光束特性计算部14使用激光输出信息P4及光学部件位置信息P3进行光线追踪,由此对向各光学部件30照射的激光L的光束特性进行计算(步骤S20)。光束特性计算部14将计算出的光束特性发送至光学部件温度推定部15。

[0071] 光学部件温度推定部15从光束特性计算部14取得各光学部件30的光束特性,并且从配置于加工头3内的温度传感器7取得温度信息P5(步骤S30)。此外,光学部件温度推定部15取得温度信息P5的处理可以在步骤S20的处理之前执行,也可以在步骤S10的处理之前执行。

[0072] 光学部件温度推定部15基于所取得的温度信息P5及光束特性,对光学部件30的温度分布进行推定(步骤S40)。光学部件温度推定部15将计算出的温度分布发送至热透镜推定部16。

[0073] 热透镜推定部16基于从光学部件温度推定部15接收到的温度分布,对各光学部件30的热透镜量进行推定(步骤S50)。热透镜推定部16将推定出的各光学部件30的热透镜量发送至成像性能变化推定部17。

[0074] 成像性能变化推定部17基于从热透镜推定部16接收到的各光学部件30的热透镜量,对工件W中的成像性能变化量进行推定(步骤S60)。成像性能变化推定部17将推定出的成像性能变化量发送至校正量计算部22。

[0075] 校正量计算部22基于从成像性能变化推定部17接收到的成像性能变化量,对用于校正成像性能的校正量进行计算(步骤S70)。校正量计算部22将校正量输出至控制部11。控制部11通过将校正量相对应的位置指令输出至激光加工部101,从而对成像性能进行校正(步骤S80)。此外,控制部11也可以将与校正量相对应的位置指令输出至驱动部10X,也可以输出至驱动部10A。

[0076] 在这里,说明对比例的激光加工装置。对比例的激光加工装置例如由在加工头内的透镜设置的温度传感器对透镜温度进行检测,基于透镜温度对焦点位置进行调节。在该对比例的激光加工装置的情况下,无法对加工头内的气氛的影响进行推定,因此难以进行准确的焦点位置的调整。另外,在该对比例的激光加工装置的情况下,无法考虑激光输出的影响,因此无法将激光加工中的成像位置的变化量反映在聚光的控制中。因此,无法抑制由

成像光学系统的成像性能的变化引起的激光加工的加工品质的劣化,无法维持加工品质。

[0077] 另一方面,在实施方式1中,加工控制部102基于激光输出信息P4、光学部件位置信息P3及温度信息P5,对成像光学系统5的成像性能的变化进行推定,对成像位置进行校正,因此能够准确地调整成像位置。

[0078] 在这里,对通过光学部件温度推定部15实施的光学部件30的温度推定方法进行说明。在这里,作为用于求出光学部件30的温度分布的例子,对求出光学部件30中的2点温度的方法进行说明。

[0079] 如果将1片光学部件30中的激光L的吸收率设为 α ,将光学部件30的质量设为 m [kg],将比热设为 c [J/kg · K],将照射至光学部件30的激光输出设为 P ,将 τ 设为时间常数,将 (i) 设为步长时间的计算步长,则步长时间 dt 的激光L所照射的光学部件30的温度上升 dT (i) 能够通过以下的式(1)进行近似。

[0080] 【式1】

$$dT(i) = \alpha P(i) * (1/mc) dt / \tau \cdots (1)$$

[0082] 此外,吸收率 α 、质量 m 及比热 c 由于是常数,因此从计算的参数的管理的简便化出发,可以将 α 、 m 、 c 表现为1个常数。另外,时间常数 τ 由于根据所照射的激光L的光束直径而变化,因此光学部件温度推定部15与通过光束特性计算部14计算出的光束直径相应地对时间常数 τ 进行变更。另外,光学部件温度推定部15也可以通过成像倍率等加工参数P1对时间常数 τ 进行变更。

[0083] 另外,光学部件30的温度上升 $dT(i)$ 根据光学部件30的位置而不同,因此光学部件温度推定部15可以使用光学部件30的位置处的多项式对光学部件30的温度上升 $dT(i)$ 进行推定,也可以使用将激光L的光束强度分布近似的值进行推定。另外,在难以将光束强度分布近似的情况下,光束强度分布可以作为固定值而手动地设定。在这里,将时间步长的 i 步长的光束中心的光束吸收所引起的温度上升成分设为 $dTp_{center}(i)$,将光束端的温度上升成分设为 $dTp_{edge}(i)$ 。

[0084] 接下来,对通过光学部件保持架6所具有的水路12的水冷得到的光学部件30的冷却效果进行说明。将由温度传感器7输出的光学部件保持架6的温度设为温度 T_H 。在加工头3内,在光学部件保持架6和光学部件30的激光L的光束端的位置之间进行热移动。因此,如果将光束端的温度设为 T_{edge} ,将与热阻等的温度相关的参数设为 k_w ,将时间常数设为 τ_w ,则光束端的温度即 T_{edge} 和来自光学部件保持架6的冷却的温度变化成分 $dT_c(i)$ 之间的关系能够如以下的式(2)进行近似。

[0085] 【式2】

$$dT_c(i) = k_w (T_{edge}(i-1) - T_H(i-1)) dt / \tau_w \cdots (2)$$

[0087] 另外,在光学部件保持架6中没有冷却构造等的水路12的情况下,也能够设为参数 $k_w = 0$,不表示水冷的冷却效果。

[0088] 如果将吹扫气体的温度设为 T_g ,将光束中心的温度设为 T_{center} ,则与加工头3内的吹扫气体的冷却效果(从对加工头3内吹扫的气体进行冷却的效果)相对应的吹扫气体的温度变化成分,能够使用与光束中心的温度相关的参数 kg 、与光束端的温度相关的参数 kg_{edge} 如以下的式(3)及式(4)进行近似。

[0089] 【式3】

[0090] $dT_{cgcenter}(i) = kg(T_g - T_{center}(i-1))dt \cdots (3)$

[0091] 【式4】

[0092] $dT_{cgedge}(i) = kg_{edge}(T_g - T_{edge}(i-1))dt \cdots (4)$

[0093] 式(3)的 $dT_{cgcenter}(i)$ 是光束中心的温度变化成分,式(4)的 $dT_{cgedge}(i)$ 是光束端的温度变化成分。 T_g 可以是加工前的光学部件保持架6的温度传感器7的值,也可以是在加工头3内的光路的附近配置的温度传感器(未图示)直接测定出的值。另外, T_g 可以是基于在激光加工中由温度传感器7测定出的值和加工头3内的构造而计算出的值。吹扫气体直接对光学部件30进行冷却,因此光学部件温度推定部15可以不具有时间常数 τ 而对吹扫气体的温度变化成分进行近似。在这里,光束中心的温度 $T_{center}(i)$ 能够表示为以下的式(5)。另外,光束端的温度 $T_{edge}(i)$ 能够表示为以下的式(6)。

[0094] 【式5】

[0095] $T_{center}(i) = T_{center}(i-1) + dT_{pcenter}(i-1) + dT_{cgcenter}(i-1) \cdots (5)$

[0096] 【式6】

[0097] $T_{edge}(i) = T_{edge}(i-1) + dT_{edge}(i-1) + dT_{cw}(i-1) + dT_{cgedge}(i-1) \cdots (6)$

[0098]

[0099] 在这里的 $T_{center}(i)$ 及 $T_{edge}(i)$ 的差分即 $\Delta T(i)$ 能够通过以下的式(7)表示。

[0100] 【式7】

[0101] $\Delta T(i) = T_{center}(i) - T_{edge}(i) \cdots (7)$

[0102] 光学部件温度推定部15可以将通过该式(7)表示的 $\Delta T(i)$ 设为温度分布。另外,光学部件30的温度分布并不限于光束中心及光束端,也可以追加光束中心和光束端之间的温度推定点。光学部件温度推定部15越增加温度推定点,则能够推定越详细的温度分布。

[0103] 另外,光学部件温度推定部15也可以通过追加而考虑其他冷却成分等,对温度分布进行推定。光学部件温度推定部15例如可以考虑光束中心和光束端之间的热交换等,即加工头3的热辐射的影响等对温度分布进行推定。

[0104] 另外,如果温度分布的光学部件30的某1点的位置处的温度信息的变化没有问题,则光学部件温度推定部15可以对仅该1点的温度差进行推定而作为温度分布(温度信息P5的变化)。

[0105] 另外,在激光振荡器1振荡出比光学部件温度推定部15的处理速度快的脉冲的情况下,光束特性计算部14对作为激光输出信息P4的激光输出[W]进行计算而作为光学部件温度推定部15的处理间的平均输出。

[0106] 另外,在上述说明中,光学部件温度推定部15只参照步长时间的1步长前的值,但光学部件温度推定部15可以参照多个步长前的值。另外,在温度传感器7的SN(Signal to Noise)比差的情况下,光学部件温度推定部15可以将对由温度传感器7在特定时间的期间遍及多次测定出的温度(多点的温度)取时间平均而得到的值,用作由温度传感器7测定出的温度。

[0107] 在实施方式1的式(1)~(4)中,对将导热方程式在时间上进行1次近似的情况进行了说明,但在需要更准确地对温度的导热特性进行近似的情况下,可以在通过高的次数进行近似后,设定与温度相关的参数。

[0108] 另外,在基于式(1)~(4)对温度进行计算时,式(1)~(4)通过时间进行积分,从而

计算温度。此外,积分方法并不限于通过时间对式(1)~(4)进行积分的方法,也可以使用龙格库塔法等。

[0109] 光学部件温度推定部15中的参数及时间常数 τ 可以预先求出而设定于光学部件温度推定部15。光学部件温度推定部15中的参数及时间常数 τ 可以针对各光学部件30的每个位置而预先求出,也可以针对每个加工参数P1预先求出。另外,光学部件温度推定部15中的参数及时间常数 τ 可以在如作业者这样的用户启动加工控制部102时由作业者决定,也可以在出厂时由加工控制部102的制造者决定。

[0110] 另外,光学部件温度推定部15的参数可以由作业者决定,也可以使用贝叶斯探索法等机器学习而决定,也可以通过格点搜索或者随机探索等而决定。通过实验测定成像性能,以由成像性能变化推定部17推定的值与测定值相符合的方式决定参数。

[0111] 另外,在光学部件30发生了历时劣化的情况下,光学部件30对激光L的吸收率 α 有可能提高。因此,可以与光学部件30的使用期间相应地对吸收率 α 的参数进行变更。由此,能够与加工头3的劣化程度相匹配地对加工参数P1进行调整。

[0112] 接下来,对通过热透镜推定部16实施的热透镜量的计算方法进行说明。光学部件30的热透镜的焦距 f 能够通过以下的式(8)表示。

[0113] 【式8】

$$f = \frac{2r^2}{OPD} \quad \dots (8)$$

[0115] 式(8)中的 r 为光束半径,OPD(Optical Path Difference)是经过光束的端部的光线和经过光束的中心的射线之间的光路差。OPD是由于光学部件30的折射率的温度依赖性 dn/dT 、线膨胀系数 dI/dT 而产生的。

[0116] 此外,热透镜推定部16也可以使用由光学部件温度推定部15求出的 ΔT 对光路差进行计算。在该情况下,热透镜推定部16将光学部件30的折射率设为 n ,将光学部件30的厚度设为 l ,能够通过以下的式(9)对作为光路差的OPD进行计算。

[0117] 【式9】

$$OPD = \left(\frac{dn}{dT} l + \frac{dl}{dT} n \right) \Delta T \quad \dots (9)$$

[0119] 热透镜推定部16通过对OPD进行计算,从而能够对各光学部件30的热透镜的焦距 f 进行计算。另外,热透镜推定部16如果对温度依赖性 dn/dT 及线膨胀系数 dI/dT 的任一值进行比较而一者极端地小(如果差或者比小于或等于特定值),则将小的项删除而进行近似。

[0120] 此外,热透镜推定部16在光学部件温度推定部15将多个光学部件30的温度求出多点的情况下,可以在求出多个焦距 f 后求出热透镜的焦距 f 。热透镜推定部16将计算出的热透镜的焦距 f 作为光学部件30的热透镜信息而输出至成像性能变化推定部17。

[0121] 成像性能变化推定部17鉴于加工头3的整体的光学系统,对成像性能的评价值进行推定,由此对工件W中的成像性能变化量进行推定。成像性能变化推定部17可以通过光线追踪对成像性能变化量进行推定,也可以通过使用了光线矩阵等的近轴光线追踪进行推定。由此,成像性能变化推定部17能够在激光加工中对成像性能变化量进行推定,能够在激光加工中将成像性能变化量输出至控制部11。

[0122] 激光加工装置100通过对加工前的成像点的位置和加工后的成像点的位置进行比

较,从而对在激光加工中产生的成像性能变化量进行计算,以该成像性能变化量对加工参数P1进行校正。由此,激光加工装置100能够准确地推定成像点的位置偏差量而准确地校正成像点的位置偏差量。因此,激光加工装置100能够通过稳定的加工参数P1执行加工,因此能够抑制加工不良。即,激光加工装置100能够抑制激光加工品质的劣化。

[0123] 激光加工装置100在工件W是使用高输出的激光L被加工的金属等的情况下,能够通过成与成像性能的变化相对应的加工参数P1的校正,进一步抑制激光加工品质的劣化。

[0124] 另外,激光加工装置100仅通过输入至加工参数输入部13的信息(加工参数P1)、从加工头3内的温度传感器7得到的信息(温度信息P5)及从激光振荡器1得到的信息(激光输出信息P4)对成像性能进行推定。因此,激光加工装置100能够针对工件W的材质的变化、工件W的温度等在激光加工中产生的外部要因,而鲁棒地对成像性能进行推定。

[0125] 另外,激光加工装置100在对光学部件30的温度进行推定时,考虑步长时间的1步长前的值,按照时间序列对光学部件30的温度进行推定。即,光学部件温度推定部15按照时间序列针对多个时刻对光学部件30的温度进行推定,并且在推定时,基于与推定的时刻相比至少1步长前的时刻的温度对光学部件30的温度进行推定。由此,激光加工装置100由于能够考虑比光学部件30的温度推定时刻靠前附近的计算步长的时刻的温度的值,因此能够减少计算处理,并且即使存在激光L的输出变动,也能够准确地推定温度。即,激光加工装置100能够与激光L的输出变化相应地,准确地推定光学部件30的温度,并且计算处理变得容易。此外,激光加工装置100如果不会对计算负荷造成影响,则可以考虑多个步长前的值而对光学部件30的温度进行推定。

[0126] 控制部11可以使光学部件30的位置移动,以使得如果成像性能的劣化对加工造成影响,则对劣化的原因进行校正。由于热透镜效应而成像性能变化的情况下的校正的优先等级可以由作业者决定。另外,控制部11可以与校正的优先等级相应地,使光学部件30的位置关系等加工参数P1变更。例如,控制部11在优先地对成像位置的变化量进行校正的设定的情况下,可以通过使成像光学系统5的位置移动,从而对成像位置进行校正。另外,控制部11在优先地对像差进行校正的设定的情况下,可以使准直透镜4及成像光学系统5的至少一者移动而校正像差。另外,控制部11可以对成像位置的变化量、像差量等赋予权重而将成像性能作为1个评价价值,对加工参数P1进行调整以使得该成像性能的评价价值成为恒定。

[0127] 另外,激光加工装置100可以对加工头3所包含的吹扫气体的影响、及光学部件保持架6所带来的向光学部件30的导热的影响进行推定。在该情况下,光学部件温度推定部15分别关于光学部件30,对光学部件30的表面或者内部的至少1点的温度进行推定,由此对加工头3的温度变化等状态变化进行推定。由此,光学部件温度推定部15能够详细地、实时地对成像性能变化量进行推定。

[0128] 此外,光学部件保持架6的温度传感器7和水路12之间的位置关系是任意的。温度传感器7只要能够对水路12所产生的的温度的影响进行测定。另外,温度传感器7可以配置于加工头3的气氛中。在该情况下,光学部件温度推定部15可以直接对吹扫气体的温度进行推定。

[0129] 另外,激光加工装置100在光学部件保持架6的全部没有搭载温度传感器7的情况下,可以针对没有温度传感器7的光学部件30,使用在接近该光学部件30的位置配置的温度传感器7的信息对光学部件30的温度进行推定。

[0130] 另外,激光加工装置100可以基于光学部件保持架6的结构的信息、及从照射光束直径近的光学部件30得到的温度信息P5的至少一者,对没有温度传感器7的光学部件30的温度进行推定。

[0131] 另外,激光加工装置100在针对如保护玻璃8那样光线的变化少的光学部件30没有搭载温度传感器7的情况下,可以进行将配置于前1段的光学部件30、或者配置于后1段的光学部件30的激光L的吸收率 α 设定为2倍,由此节省没有搭载温度传感器7的部件的计算等的处理。

[0132] 另外,激光加工装置100在组透镜等1个光学部件保持架6中放入了多片光学部件30的情况下,可以进行将激光L的吸收率 α 与组透镜的片数量相乘等处理。

[0133] 控制部11为了在激光加工中对成像性能变化量进行校正,将光学部件30的位置关系、光学部件30的位移量(反射镜的曲率等)这样的加工参数P1的变更指定给驱动部10X。在这里,所谓的激光加工中,可以是对1个部件进行加工的激光L振荡的期间,也可以是在对1个部件进行加工的期间激光L的振荡停止的期间。在对1个部件进行加工的期间激光L的振荡停止的期间,例如是从穿孔加工等开孔加工切换为切断加工等的加工切换进行的期间。控制部11通过在激光加工中将加工参数P1的变更指定给驱动部10X,从而对成像性能进行调整。

[0134] 另外,控制部11在从1个工件W切出许多部件的程序的执行中,可以在为了对下一个部件进行加工而加工头3移动的期间使光学部件30移动。另外,控制部11可以在从激光L的输出成为0起至特定时间经过为止之间使光学部件30移动。

[0135] 另外,控制部11可以针对控制部11的每个控制周期对使加工参数P1变更的定时进行变更,也可以在加工头3成为特定的移动量的情况下进行变更。在这里的特定的移动量的值,可以根据加工参数P1、应该加工的材质而变更。如上所述,激光加工装置100在激光加工中通过对成像性能进行校正,从而即使针对大的工件W等加工花费时间的部件,也不会使加工品质变化而能够进行加工。

[0136] 另外,控制部11在来自温度传感器7的温度信息P5的值高于特定值,即使对成像性能进行校正,也会发生加工不良的可能性高的情况下,由于存在光学部件30损伤的可能性,因此可以将使加工停止等指令输出至激光加工部101。由此,激光加工装置100能够在激光加工中对加工不良会继续发生的情况进行检测而防止加工不良的继续。

[0137] 此外,在实施方式1中说明的激光加工可以是切断、焊接、开孔、层叠等任意的加工。另外,被激光加工的工件W的材料可以是金属、树脂等任意的材料。

[0138] 如上所述,实施方式1的激光加工装置100,基于对配置于加工头3的光学部件30照射的激光L的光束特性和配置于加工头3内的温度传感器7所测量出的温度信息P5,对光学部件30的推定温度(温度分布)进行推定。另外,激光加工装置100基于温度分布对光学部件30的热透镜量进行推定,基于热透镜量对成像性能变化量进行推定。另外,激光加工装置100基于推定成像性能变化量对加工参数P1的校正量进行计算,在激光加工中基于校正量对加工参数P1进行变更。由此,激光加工装置100能够考虑到成像光学系统5的成像性能的变化为止而执行激光加工,因此能够充分地抑制激光加工品质的劣化。另外,激光加工装置100由于对成像性能的变化量进行推定,因此即使不考虑加工参数P1的绝对值的值,也能够进行校正。

[0139] 实施方式2.

[0140] 接下来,使用图6对实施方式2进行说明。在实施方式2中,在激光输出值为0[W]的时间持续大于或等于特定时间的情况下,吹扫气体的温度变化的可能性高,因此对吹扫气体的温度信息进行更新。

[0141] 图6是表示实施方式2所涉及的激光加工装置的功能结构的框图。关于图6的各结构要素之中的与图4所示的实施方式1的激光加工装置100具有同一功能的结构要素标注同一标号,省略重复说明。

[0142] 激光加工装置200具有激光加工部201和加工控制部202。激光加工部201具有与激光加工部101相同的结构。加工控制部202在加工控制部102所具有的结构要素的基础上,还具有温度信息初始化时间设定部18。

[0143] 温度信息初始化时间设定部18与光学部件温度推定部15连接。另外,实施方式2的光学部件温度推定部15与激光振荡器1连接,从搭载于激光振荡器1的输出监视器取得激光输出信息P4。

[0144] 激光加工装置200在执行激光加工的情况下,有时从1片大的工件W对多个相同或者不同的部件进行加工。在该情况下,在激光加工装置200中,存在光学部件温度推定部15所使用的加工头3内的吹扫气体的温度仍未被冷却的情况和完全地被冷却的情况。

[0145] 根据吹扫气体的温度,成像性能变化量会不同,因此实施方式2的激光加工装置200基于对吹扫气体的温度带来影响的激光L的输出状态对吹扫气体的初始温度进行更新。吹扫气体的初始温度是前述的光束中心的温度变化成分 $dT_{cgcenter}(i)$ 及光束端的温度变化成分 $dT_{cgedge}(i)$ 的计算所使用的温度。由此,前述的光束中心的温度变化成分 $dT_{cgcenter}(i)$ 及光束端的温度变化成分 $dT_{cgedge}(i)$ 成为与吹扫气体的温度相对应的适当的值。

[0146] 温度信息初始化时间设定部18在没有振荡激光L的定时,即在激光输出值为0[W]的时间持续大于或等于特定时间的情况下,使吹扫气体的初始温度及加工头3的气氛温度的初始温度的至少一者进行更新。温度信息初始化时间设定部18例如在激光输出值为0[W]的时间持续大于或等于特定时间的情况下,将使吹扫气体的初始温度及加工头3的气氛温度的初始温度进行更新的指令(初始温度更新指令)输出至光学部件温度推定部15。此外,温度信息初始化时间设定部18在激光输出值为0[W]附近(小于特定值)的状态持续大于或等于特定时间的情况下,可以将初始温度更新指令输出至光学部件温度推定部15。

[0147] 如上所述,温度信息初始化时间设定部18在所设定的特定时间的期间,如果激光输出值小于特定值(例如0[W]),则将初始温度更新指令输出至光学部件温度推定部15,该初始温度更新指令使光学部件温度推定部15将所存储的吹扫气体的温度更新为此时(接收到初始温度更新指令时)由温度传感器7输出的最新的温度信息P5的值。

[0148] 光学部件温度推定部15如果接收到初始温度更新指令,则将当前存储的吹扫气体的温度更新为在接收到初始温度更新指令时由温度传感器7输出的最新的温度信息P5的值。而且,光学部件温度推定部15基于更新后的温度信息P5及从光束特性计算部14接收到的光束特性,对光学部件30的温度分布进行推定。

[0149] 由此,激光加工装置200也能够应对加工头3内的吹扫气体的温度变化、周边环境的温度变化等,能够在推定出适于环境的成像性能后进行加工。此外,向温度信息初始化时间设定部18的温度信息初始化的时间设定可以由作业者设定,也可以在加工控制部202的

启动时预先设定,也可以在加工控制部202的出厂时进行设定。

[0150] 另外,温度信息初始化时间设定部18可以具有下述功能,即,如果激光输出值为0[W]的时间持续特定时间,则使成像位置的偏差量初始化为0[mm]等,对通过热透镜效应而变化的成像性能变化量进行初始化。由此,激光加工装置200在实际上对加工没有贡献的情况下不使光学部件30位移,因此能够使驱动部10X长寿命化。

[0151] 如上所述,在实施方式2中,激光加工装置200在激光输出值为0[W]的时间持续大于或等于特定时间的情况下,吹扫气体的温度变化的可能性高,因此对吹扫气体的温度信息进行更新。由此,激光加工装置200能够准确地推定加工头3内的加工开始前的气氛的状态。因此,激光加工装置200能够在推定出与加工头3内的吹扫气体的温度变化、周边环境的温度变化等相对应的成像性能后进行加工。因此,激光加工装置200能够充分地抑制激光加工品质的劣化。

[0152] 实施方式3.

[0153] 接下来,使用图7对实施方式3进行说明。实施方式3的激光加工装置基于工件W的材质、板厚及加工气体的种类这样的表示激光加工的种类的加工种类信息,对由成像性能变化推定部17推定出的成像性能变化量进行校正。

[0154] 图7是表示实施方式3所涉及的激光加工装置的功能结构的框图。对图7的各结构要素之中的与图4所示的实施方式1的激光加工装置100具有同一功能的结构要素标注同一标号,省略重复说明。

[0155] 激光加工装置300具有激光加工部301和加工控制部302。激光加工部301具有与激光加工部101相同的结构。加工控制部302在加工控制部102所具有的结构要素、或者加工控制部202所具有的结构要素的基础上,还具有校正系数决定部19。下面,对加工控制部302在加工控制部102所具有的结构要素的基础上,还具有校正系数决定部19的情况进行说明。

[0156] 加工控制部302的加工参数输入部13从加工参数P1对表示工件W的材质的信息(材质P21)、表示工件W的板厚的信息(板厚P22)及在激光加工中使用的加工气体的种类的信息(气体种类P23)进行提取,而输出至校正系数决定部19。在激光加工中使用的加工气体是在激光L照射至工件W时对工件W喷出的气体(辅助气体)。

[0157] 校正系数决定部19与加工参数输入部13及校正量计算部22连接。校正系数决定部19从加工参数输入部13对材质P21、板厚P22及气体种类P23进行接收而作为加工种类信息。校正系数决定部19决定与材质P21、板厚P22及气体种类P23的至少1个相对应的校正系数k。校正系数k是用于对成像性能变化量进行校正的系数。校正系数决定部19将决定出的校正系数k输出至校正量计算部22。

[0158] 校正量计算部22从校正系数决定部19接收校正系数k,并且从成像性能变化推定部17接收成像性能变化量。校正量计算部22在将由成像性能变化推定部17推定出的成像性能变化量设为成像位置的偏差量 Δf 的情况下,通过将用于对 Δf 进行校正的校正系数k乘以 Δf ,从而对校正后的偏差量 Δf_{corr} 进行计算。具体地说,校正量计算部22使用以下的式(10)对校正后的偏差量 Δf_{corr} 进行计算。

[0159] 【式10】

[0160]
$$\Delta f_{\text{corr}} = k \Delta f \cdots (10)$$

[0161] 校正量计算部22基于校正后的偏差量 Δf_{corr} (校正后的成像性能变化量),对用于

将成像性能恢复为加工开始前的状态的校正量进行计算。校正量计算部22将计算出的校正量输出至控制部11。

[0162] 激光加工装置300有时事先知晓与材质P21、板厚P22及气体种类P23相对应的加工开始时的成像位置的加工裕度与工件W的表面相比是处于加工头3的方向,还是处于工件W的深度方向。在该情况下,激光加工装置300能够将与成像位置的加工裕度相对应的校正系数 k 乘以偏差量 Δf 。

[0163] 例如,针对加工材质为软钢SS400、气体种类P23为氧气的情况下的切断处理,容许设定使得成像点的成像位置向加工头3的方向移动的校正系数 k 。因此,在该情况下,作为使得避免使成像点的成像位置在工件W的深度方向移动的校正系数 k ,例如设定小于或等于1.0的值。

[0164] 另外,针对气体种类P23为氮气的情况下的切断处理,避免设定使得成像点的成像位置向加工头3的方向移动的校正系数 k 。因此,在该情况下,容许使成像点的成像位置在工件W的深度方向移动,因此作为校正系数 k ,例如设定大于或等于1.0的值。

[0165] 由此,激光加工装置300能够进行与材质P21、板厚P22及气体种类P23等加工种类信息相匹配的成像性能的校正,能够进行与作业环境相对应的加工。

[0166] 校正量计算部22基于校正后的成像性能变化量(校正后的偏差量 Δf_{corr})对加工参数P1的校正量进行计算。校正量计算部22将加工参数P1的校正量输出至控制部11。控制部11基于校正量对光学部件30进行调整,以使得成像性能的评价值成为恒定。控制部11通过将用于对光学部件30进行调整的指令(光学部件30的移动指令等)输入至驱动部10X,从而在激光加工中,一边进行光学部件30的位置的变更、一边对激光加工进行控制。如上所述,控制部11执行与乘以校正系数 k 后的成像性能的评价值(成像性能变化量)相对应的控制。

[0167] 如上所述,在实施方式3中,激光加工装置300与材质P21、板厚P22及气体种类P23相匹配地对成像性能变化量进行校正。由此,激光加工装置300能够以与材质P21、板厚P22及气体种类P23相应地校正后的成像性能变化量所对应的校正量对加工参数P1进行校正,然后进行加工。因此,激光加工装置300能够充分地抑制激光加工品质的劣化。

[0168] 实施方式4.

[0169] 接下来,使用图8及图9对实施方式4进行说明。在实施方式4中,激光加工装置对加工参数P1、光学部件位置信息P3、激光输出信息P4及温度信息P5和成像性能变化量之间的对应关系进行学习而创建训练好的模型。而且,在激光加工时,激光加工装置通过将加工参数P1、光学部件位置信息P3、激光输出信息P4及温度信息P5输入至训练好的模型,从而对成像性能变化量进行推定。

[0170] 图8是表示实施方式4所涉及的激光加工装置的功能结构的框图。对图8的各结构要素之中的与图4所示的实施方式1的激光加工装置100具有同一功能的结构要素标注同一标号,省略重复说明。

[0171] 激光加工装置400具有激光加工部401和加工控制部402。激光加工部401具有与激光加工部101相同的结构。加工控制部402在加工控制部102所具有的结构要素、加工控制部202所具有的结构要素或者加工控制部302所具有的结构要素的基础上,还具有作为机器学习装置的加工参数解析器20。下面,对加工控制部402在加工控制部102所具有的结构要素

的基础上,还具有加工参数解析器20的情况进行说明。

[0172] 加工参数解析器20具有数据取得部21、特征量提取部23、学习部24和校正量计算部22。数据取得部21与加工参数输入部13、激光振荡器1、温度传感器7及特征量提取部23连接。学习部24与特征量提取部23和校正量计算部22连接。

[0173] 数据取得部21从加工参数输入部13取得加工参数P1及光学部件位置信息P3。另外,数据取得部21从温度传感器7取得温度信息P5。另外,数据取得部21从激光振荡器1取得激光输出信息P4。在这里的激光输出信息P4是激光L的第1输出值,温度信息P5是第1温度信息。

[0174] 此外,数据取得部21可以与实施方式1同样地,从经由加工参数输入部13输出的加工参数P1对激光输出信息P4进行提取。另外,数据取得部21也可以根据从控制部11向激光振荡器1实际输出的激光L的输出指令对激光输出信息P4进行计算。

[0175] 另外,数据取得部21取得激光输出的时间序列数据即激光输出履历、及温度传感器7的测量结果的时间序列数据即温度履历。具体地说,数据取得部21基于激光输出信息P4而生成激光输出履历。另外,数据取得部21基于温度信息P5而生成温度履历。

[0176] 激光输出履历是激光输出的时间推移。激光输出履历可以是激光L的平均输出,也可以是峰值输出。激光输出履历只要是输出的时间上的推移已知的数据即可。数据取得部21以数据取得部21能够取得的采样周期而取得激光输出履历。

[0177] 数据取得部21将所取得的加工参数P1、光学部件位置信息P3、激光输出履历及温度履历作为状态量而输出至特征量提取部23。此外,数据取得部21取得至少包含激光输出信息P4及温度信息P5在内的第1状态量而输出至特征量提取部23即可。另外,数据取得部21也可以取代激光输出履历,而是将包含激光输出信息P4的状态量输出至特征量提取部23。另外,数据取得部21也可以取代温度履历,而是将包含温度信息P5的状态量输出至特征量提取部23。

[0178] 特征量提取部23从状态量提取特征量。在这里的特征量是光学部件30的温度的信息、激光输出的信息、加工参数P1等。特征量提取部23将提取出的特征量输出至学习部24。特征量与在实施方式1~3中说明的光束特性及温度信息P5相对应。

[0179] 另外,对学习部24还输入成像性能的评价值。成像性能的评价值是成像点的变化量相关的测定结果所对应的值,可以是连续的值,也可以是离散的值。可以向学习部24输入由作业者决定出的成像性能的评价值,也可以输入由实施方式1~3的成像性能变化推定部17计算出的成像性能的评价值。由作业者决定出的成像性能的评价值例如可以从未图示的输入单元输入,也可以从其他装置接收。另外,评价值可以是光束腰位置、成像位置的光束直径、球面像差量等。另外,评价值也可以是光束强度分布的形状的良好与否。

[0180] 学习部24将由特征量提取部23提取出的特征量和成像性能的评价值相关联而进行学习。即,学习部24对由光学部件温度推定部15、热透镜推定部16及成像性能变化推定部17执行的处理进行学习。此外,学习部24与加工参数解析器20同样地,由处理电路实现。

[0181] 学习部24通过机器学习,对输入的数据和结果的数据的组进行学习,由此生成训练好的模型。在这里的学习部24对基于状态量而推定加工参数P1的校正量的情况进行学习而生成训练好的模型。作为通过学习部24进行的机器学习的算法,可以使用任意的算法。学习部24例如能够使用有教师学习的算法。

[0182] 学习部24使用由特征量和评价价值构成的数据集,对成像性能变化量(成像位置的变化量、像差量的变化量等)进行机器学习。在这里的数据集是将特征量和评价价值彼此相关联的数据。

[0183] 学习部24使用通过机器学习得到的训练好的模型,对与特征量相对应的成像点的位置、加工头3内所包含的光学部件30的位置关系的位移量等的加工参数P1的变化进行推定。具体地说,学习部24使用训练好的模型,将与特征量相对应的成像性能变化量导出。即,学习部24在激光加工中,取得至少包含激光输出信息(第2输出值)P4及温度信息(第1温度信息)P5在内的第2状态量,对训练好的模型输入特征量(第2状态量),由此将与第2状态量相对应的成像性能变化量导出。学习部24将导出的成像性能变化量输出至校正量计算部22。

[0184] 此外,加工参数解析器20可以不具有特征量提取部23。在该情况下,数据取得部21将状态量输出至学习部24。而且,学习部24取代特征量而使用状态量执行学习。

[0185] 校正量计算部22基于从学习部24发送来的成像性能变化量(推定量),对加工参数P1的校正量进行计算。此外,校正量计算部22也可以取得设定于控制部11的加工参数P1,基于从学习部24发送来的成像性能变化量和当前设定于控制部11的加工参数P1对校正量进行计算。校正量计算部22将计算出的校正量向控制部11输出。

[0186] 控制部11基于从校正量计算部22接收到的校正量对加工参数P1进行校正,由此对加工进行控制。如上所述,在与通过学习部24得到的推定结果(成像性能变化量)相对应的加工参数P1的值和当前的加工参数P1的值之间存在差值的情况下,激光加工装置400以加工参数P1被校正后的条件进行加工。加工参数P1的校正直至从学习部24输出的校正量(与成像性能变化量的偏差量相对应的校正量)处于特定的范围内为止进行重复。在激光加工装置400中,控制部11通过将校正量相对应的指令输出至驱动部10X,从而能够高精度地对加工参数P1进行调整。此外,在校正量是用于对加工头3的位置进行校正的校正量的情况下,控制部11将与校正量相对应的指令输出至驱动部10A。

[0187] 此外,在实施方式4中,加工参数解析器20对特征量和成像性能变化量的偏差量之间的关系进行了学习,但加工参数解析器20也可以对特征量和热透镜量之间的关系进行学习。即,加工参数解析器20可以对由光学部件温度推定部15及热透镜推定部16执行的处理进行学习。换言之,在激光加工装置100、200、300中,可以取代光学部件温度推定部15及热透镜推定部16,作为机器学习装置而配置数据取得部21、特征量提取部23及学习部24。在该情况下,机器学习装置从光束特性计算部14接收光束特性,从温度传感器7接收温度信息P5。而且,机器学习装置通过学习而生成表示特征量(光束特性及温度信息P5)和热透镜量之间的对应关系的训练好的模型。在该情况下,向机器学习装置输入由作业者计算出的热透镜量。机器学习装置在激光加工时,通过该训练好的模型输入特征量,从而对与特征量相对应的热透镜量进行推定。如上所述,机器学习装置对特征量和光学部件30的热透镜量之间的关系进行学习,在激光加工中,取代光学部件温度推定部15及热透镜推定部16,对与特征量相对应的热透镜量进行推定。

[0188] 另外,加工参数解析器20可以对特征量和光学部件30的温度分布之间的关系进行学习。即,加工参数解析器20可以对由光学部件温度推定部15执行的处理进行学习。换言之,在激光加工装置100、200、300中,可以取代光学部件温度推定部15,作为机器学习装置

(第1机器学习装置)而配置数据取得部(第1数据取得部)21、特征量提取部23及学习部(第1学习部)24。在该情况下,机器学习装置从光束特性计算部14接收第1光束特性,从温度传感器7接收温度信息(第1温度信息)P5。而且,机器学习装置通过学习而生成表示特征量(包含光束特性及温度信息P5在内的第1状态量)和光学部件30的温度分布之间的对应关系的第1训练好的模型。在该情况下,向机器学习装置输入由作业者计算出的光学部件30的温度分布。机器学习装置在激光加工时,将包含从光束特性计算部14接收到的第2光束特性及从温度传感器7接收到的温度信息(第2温度信息)P5在内的第2状态量输入至第1训练好的模型,由此对与第2状态量相对应的光学部件30的温度分布进行推定。如上所述,机器学习装置对特征量和光学部件30的温度分布之间的关系进行学习,在激光加工中,取代光束特性计算部14,对与特征量相对应的光学部件30的温度分布进行推定。

[0189] 另外,加工参数解析器20可以对由光学部件温度推定部15推定出的温度分布、从光束特性计算部14发送来的光学部件位置信息P3及光束直径和热透镜量之间的对应关系进行学习。即,加工参数解析器20可以对由热透镜推定部16执行的处理进行学习。换言之,在激光加工装置100、200、300中,可以取代热透镜推定部16,作为机器学习装置(第2机器学习装置)而配置数据取得部(第2数据取得部)21、特征量提取部23及学习部(第2学习部)24。在该情况下,机器学习装置从光学部件温度推定部15接收温度分布(第1推定温度)。而且,机器学习装置通过学习,生成表示特征量(包含由光学部件温度推定部15推定出的温度分布的第3状态量)和热透镜量之间的对应关系的第2训练好的模型。在该情况下,向机器学习装置输入由作业者计算出的热透镜量。机器学习装置在激光加工时,通过将包含由光学部件温度推定部15推定出的温度分布(第2推定温度)的第4状态量输入至第2训练好的模型,从而对与第4状态量相对应的热透镜量进行推定。如上所述,机器学习装置对温度分布、光学部件位置信息P3及光束直径和光学部件30的热透镜量之间的关系进行学习,在激光加工中取代热透镜推定部16,对与特征量相对应的热透镜量进行推定。此外,在第3状态量及第4状态量中,可以包含从光束特性计算部14发送来的光学部件位置信息P3及光束直径。

[0190] 另外,加工参数解析器20可以对由热透镜推定部16推定出的热透镜量和成像性能变化量或者成像性能的评价值之间的对应关系进行学习。即,加工参数解析器20可以对由成像性能变化推定部17执行的处理进行学习。换言之,在激光加工装置100、200、300中,可以取代成像性能变化推定部17,作为机器学习装置(第3机器学习装置)而配置数据取得部(第3数据取得部)21、特征量提取部23及学习部(第3学习部)24。在该情况下,机器学习装置从热透镜推定部16接收热透镜量(第1热透镜量)。而且,机器学习装置通过学习而生成表示特征量(包含由热透镜推定部16推定出的热透镜量的第5状态量)和成像性能变化量或者成像性能的评价值之间的对应关系的第3训练好的模型。在该情况下,向机器学习装置输入由作业者计算出的成像性能变化量或者成像性能的评价值。机器学习装置在激光加工时,通过将包含由热透镜推定部16推定出的热透镜量(第2热透镜量)的第6状态量输入至第3训练好的模型,从而对与第6状态量相对应的成像性能变化量或者成像性能的评价值进行推定。如上所述,机器学习装置对热透镜量和成像性能变化量或者成像性能的评价值之间的关系进行学习,在激光加工中,取代成像性能变化推定部17,对与特征量相对应的成像性能变化量或者成像性能的评价值进行推定。

[0191] 另外,加工参数解析器20可以对由成像性能变化推定部17推定出的成像性能变化

量和加工参数P1的校正量之间的对应关系进行学习。即,加工参数解析器20可以对由校正量计算部22执行的处理进行学习。换言之,在激光加工装置100、200、300中,可以取代校正量计算部22,作为机器学习装置(第4机器学习装置)而配置数据取得部(第4数据取得部)21、特征量提取部23及学习部(第4学习部)24。在该情况下,机器学习装置从成像性能变化推定部17接收成像性能变化量(第1推定成像性能变化量)。而且,机器学习装置通过学习而生成表示特征量(包含由成像性能变化推定部17推定出的成像性能变化量的第7状态量)和加工参数P1的校正量之间的对应关系的第4训练好的模型。在该情况下,向机器学习装置输入由作业者计算出的加工参数P1的校正量。机器学习装置在激光加工时,通过将包含由成像性能变化推定部17推定出的成像性能变化量(第2推定成像性能变化量)的第8状态量输入至第4训练好的模型,从而对与第8状态量相对应的加工参数P1的校正量进行推定。如上所述,机器学习装置对成像性能变化量和校正量之间的关系进行学习,在激光加工中,取代校正量计算部22,对与特征量相对应的校正量进行推定。

[0192] 同样地,机器学习装置可以对由热透镜推定部16推定出的热透镜量和加工参数P1的校正量之间的对应关系进行学习。同样地,机器学习装置可以对由光学部件温度推定部15推定出的温度分布和加工参数P1的校正量之间的对应关系进行学习。

[0193] 机器学习装置对由光学部件温度推定部15执行的处理、由热透镜推定部16执行的处理、由成像性能变化推定部17执行的处理及由校正量计算部22执行的处理的至少1个进行学习。例如机器学习装置可以对由光学部件温度推定部15推定出的温度分布和成像性能变化量之间的对应关系进行学习。

[0194] 此外,在实施方式4中,说明了学习部24具有对特征量和成像性能变化量之间的关系进行机器学习的学习功能、和使用训练好的模型对成像性能变化量进行推断的推断功能。这两者的情况,但学习功能和推断功能可以由不同的装置实现。换言之,使用训练好的模型而输出评价值的推断部可以与学习部24分体地设置。即,加工参数解析器20可以具有推断部,该推断部使用通过学习部24进行学习后的训练好的模型对成像性能变化量进行计算。

[0195] 此外,在图8所示的例子中,学习部24设置于加工参数解析器20内,但学习部24也可以是与加工参数解析器20分体的装置。例如加工参数解析器20和学习部24可以经由网络进行连接。另外,学习部24也可以存在于云服务器上。

[0196] 学习部24例如使用神经网络模型,通过所谓有教师学习,对与加工参数P1及激光输出信息P4相对应的成像性能变化量进行学习。在这里,有教师学习是通过将某输入和结果(标签)的数据的组即数据集大量地赋予给学习器,从而对在这些数据集中存在的特征进行学习,根据输入而推定结果的机器学习。

[0197] 神经网络由通过多个神经元构成的输入层、通过多个神经元构成的也被称为隐藏层的中间层、及通过多个神经元构成的输出层构成。中间层可以为1层,也可以大于或等于2层。

[0198] 图9是表示实施方式4所涉及的神经网络模型的结构例的图。X1、X2、X3是输入层的神经元,Y1、Y2是中间层的神经元,Z1、Z2、Z3是输出层的神经元。例如如果是图9所示的3层神经网络模型,则在3个输入值各自分别输入至对应的X1、X2、X3后,各输入值乘以对应的权重w11~w16而输入至中间层的神经元即Y1、Y2。而且,来自Y1、Y2的输出值乘以对应的权重w21~w26,输入至输出层的神经元即Z1、Z2、Z3。输出层加上输入的值,作为输出结果进行输

出。例如能够使从Z1、Z2、Z3分别输出的结果与各加工不良的项目所对应的评价结果相关联。该输出结果根据权重 $w_{11} \sim w_{16}$ 和权重 $w_{21} \sim w_{26}$ 的值而改变。

[0199] 在实施方式4中,使用上述数据集,对权重 $w_{11} \sim w_{16}$ 和权重 $w_{21} \sim w_{26}$ 进行调整,以使得上述神经网络的输出结果与正确的成像性能的评价结果(成像性能变化量)接近,由此进行学习。此外,图9所示的神经网络是一个例子,神经网络模型的层数及属于各层的神经元的数量并不限定于图9的例子。

[0200] 另外,学习部24也能够使用神经网络模型,通过所谓无教师学习,对激光输出信息P4、温度传感器7的信息和成像性能的评价结果、或者应该校正的加工参数P1之间的关系进行学习。无教师学习是下述方式,即,通过仅将输入数据大量地赋予给学习部24,从而对输入数据形成何种分布进行学习,即使不赋予对应的教师输出数据,也会学习针对输入数据进行压缩、分类、整形等的方法。例如在无教师学习中,能够对输入数据的集合所具有的特征相似者彼此进行聚类。在该情况下,通过以设置某种基准而使聚类等的结果变得最佳的方式针对聚类等的结果进行评价结果的分配,从而能够实现评价结果的预测。另外,作为无教师学习和有教师学习的中间的问题设定,存在被称为有半教师学习的学习,该学习是仅一部分存在输入和输出的数据的组,其以外仅存在输入的数据的情况。实施方式4的学习部24可以通过有半教师学习而实现机器学习。

[0201] 另外,学习部24可以从多个加工参数解析器20取得数据集,对针对激光输出履历和温度传感器7的测量结果(温度信息P5)的时间序列数据即温度履历的組合的成像性能的评价结果进行学习。多个加工参数解析器20可以是实施方式4的加工参数解析器20。

[0202] 此外,学习部24可以从在同一现场使用的多个加工参数解析器20取得数据集,也可以从在不同的现场分别运转的多个加工参数解析器20取得数据集。并且,也能够将数据集的取得源的加工参数解析器20在中途进行追加,或者,将取得源的加工参数解析器20在中途去除。

[0203] 另外,也可以与加工参数解析器20分体地设置学习部,在该学习部通过从某加工参数解析器(第1加工参数解析器)取得的数据集进行学习后,与另一加工参数解析器(第2加工参数解析器)连接,进一步从该第2加工参数解析器取得数据集而进行再学习。

[0204] 此外,数据取得部21也可以还取得工件W的板厚P22、工件W的材质P21等而包含于状态量。在该情况下,特征量提取部23将工件W的板厚P22、工件W的材质P21等也包含于特征量而输出至学习部24。

[0205] 作为学习部24所使用的学习算法,也能够使用对特征量本身的提取进行学习的深度学习(Deep Learning),学习部24可以按照其他公知的方法,例如遗传编程、功能逻辑编程、支持向量机、费舍尔判别法、部分空间法、使用马哈拉诺比斯空间的判别分析等执行机器学习。另外,作为学习部24所使用的学习算法,可以使用决策树、随机森林(Random Forest)、逻辑回归、k附近法(k-Nearest Neighbor:kNN)、部分空间法、CLAFIC(CLASS-Featuring Information Compression method)、Isolation Forest、LOF(Local Outlier Factor)、提升方法、AdaBoost、LogitBoost、One-Class SVM(Support Vector Machine)、Gaussian Mixture Model等。另外,学习部24可以如深度学习、卷积神经网络(Convolutional Neural Network:CNN)、递归神经网络(Recurrent Neural Network:RNN)等那样,在进行自动地提取特征量的学习的情况下,可以不设置特征量提取部23。另外,可

以针对加工控制部402,针对成像性能的每个项目设置加工参数解析器20,也可以使1个加工参数解析器20与成像性能的项目对应。另外,学习部24可以使用强化学习、贝叶斯探索等探索算法进行参数的探索。如上所述,加工控制部402具有加工参数解析器20,由此能够高精度地对成像性能进行推定,能够稳定地进行加工。以上所述以外的实施方式4的动作与实施方式1相同。

[0206] 如上所述,实施方式4的加工参数解析器20对加工参数P1、光学部件位置信息P3、激光输出信息P4及温度信息P5和成像性能变化量之间的对应关系进行学习而生成训练好的模型。而且,在激光加工时,加工参数解析器20将加工参数P1、光学部件位置信息P3、激光输出信息P4及温度信息P5输入至训练好的模型,由此推定出成像性能变化量。由此,激光加工装置400能够考虑到成像光学系统5的成像性能的变化为止而执行激光加工,因此能够充分地抑制激光加工品质的劣化。

[0207] 接下来,对加工控制部102、202、302、402的硬件结构进行说明。此外,加工控制部102、202、302、402具有相同的硬件结构,因此,在这里对加工控制部102的硬件结构进行说明。在加工控制部102中,加工参数输入部13、光束特性计算部14、光学部件温度推定部15、热透镜推定部16、成像性能变化推定部17、校正量计算部22及控制部11通过处理电路实现。该处理电路可以是执行在存储器中储存的程序的处理器及存储器,也可以是专用的硬件。处理电路也被称为控制电路。

[0208] 图10是表示将实施方式1~4所涉及的加工控制部所具有的处理电路通过处理器及存储器实现的情况下的处理电路的结构例的图。图10所示的处理电路90是控制电路,具有处理器91及存储器92。在处理电路90由处理器91及存储器92构成的情况下,处理电路90的各功能通过软件、固件或者软件和固件的组合实现。软件或者固件被记述为程序,储存于存储器92。在处理电路90中,由处理器91读出并执行在存储器92中存储的程序,由此实现各功能。即,处理电路90具有存储器92,该存储器92用于对加工控制部102的处理最终得以执行的加工控制程序进行储存。该加工控制程序可以说是用于使加工控制部102执行通过处理电路90实现的各功能的程序。该加工控制程序可以通过存储有程序的存储介质提供,也可以通过通信介质等其他单元提供。

[0209] 在这里,处理器91例如是CPU(Central Processing Unit)、处理装置、运算装置、微处理器、微型计算机或者DSP(Digital Signal Processor)等。另外,存储器92例如是RAM(Random Access Memory)、ROM(Read Only Memory)、闪存、EPROM(Erasable Programmable ROM)、EEPROM(注册商标)(Electrically EPROM)等非易失性或者易失性的半导体存储器、磁盘、软盘、光盘、压缩盘、迷你盘或者DVD(Digital Versatile Disc)等。

[0210] 图11是表示将实施方式1~4所涉及的加工控制部所具有的处理电路通过专用的硬件构成的情况下的处理电路的例子图。图11所示的处理电路93例如是单一电路、复合电路、被程序化的处理器、被并行程序化的处理器、ASIC(Application Specific Integrated Circuit)、FPGA(Field Programmable Gate Array)或者它们的组合。

[0211] 关于处理电路90、93,可以将一部分通过专用的硬件实现,将一部分通过软件或者固件实现。如上所述,处理电路90、93能够通过专用的硬件、软件、固件或者它们的组合而实现上述各功能。

[0212] 此外,加工参数输入部13、光束特性计算部14、光学部件温度推定部15、热透镜推

定部16、成像性能变化推定部17、校正量计算部22及控制部11的一部分也可以通过各自不同的处理电路实现。

[0213] 以上的实施方式所示的结构表示一个例子,也能够与其他公知技术组合,也能够将实施方式彼此组合,在不脱离主旨的范围也能够将结构的一部分省略、变更。

[0214] 标号的说明

[0215] 1激光振荡器,2光纤,3加工头,4准直透镜,5成像光学系统,6光学部件保持架,7温度传感器,8保护玻璃,9加工嘴,10A~10C、10X驱动部,11控制部,12水路,13加工参数输入部,14光束特性计算部,15光学部件温度推定部,16热透镜推定部,17成像性能变化推定部,18温度信息初始化时间设定部,19校正系数决定部,20加工参数解析器,21数据取得部,22校正量计算部,23特征量提取部,24学习部,30光学部件,90、93处理电路,91处理器,92存储器,100、200、300、400激光加工装置,101、201、301、401激光加工部,102、202、302、402加工控制部,D1、D2成像点位置,L激光,P1加工参数,P21材质,P22板厚,P23气体种类,P3光学部件位置信息,P4激光输出信息,P5温度信息,P6光学部件位移量,P7激光输出指令,W工件。

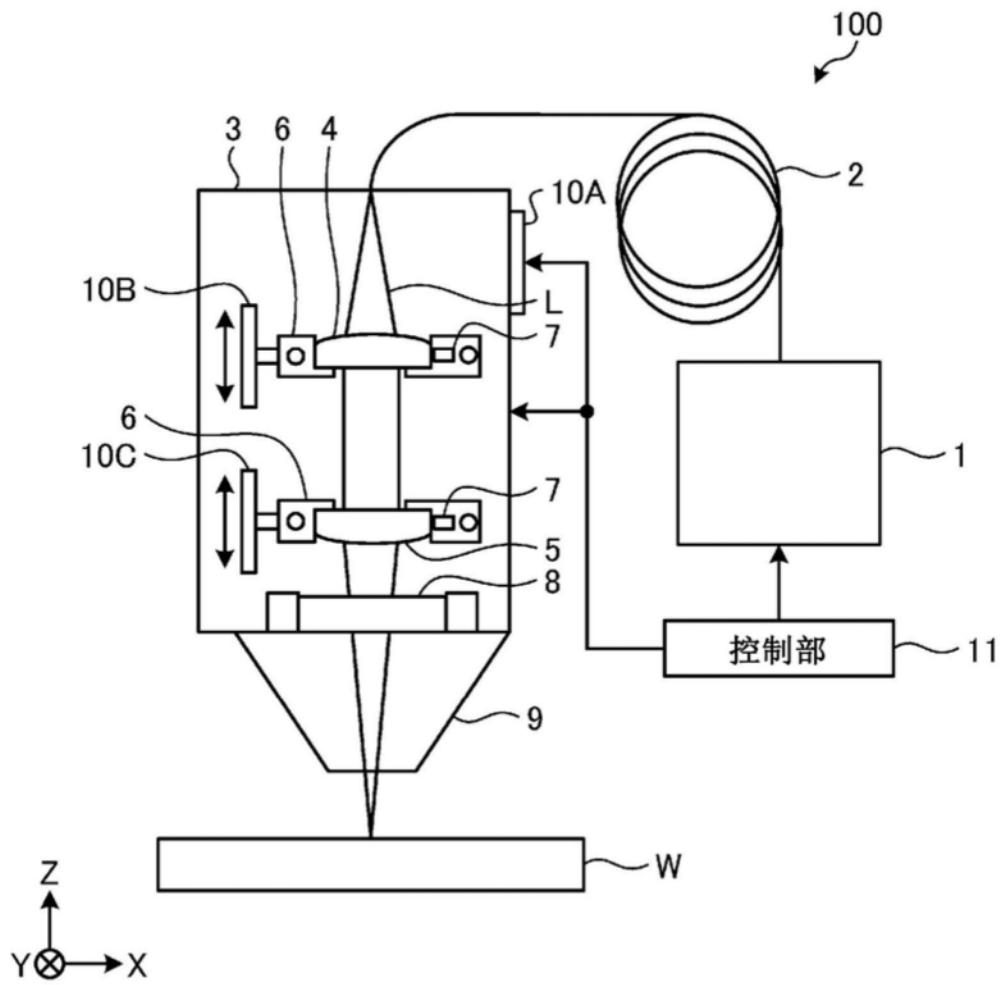


图1

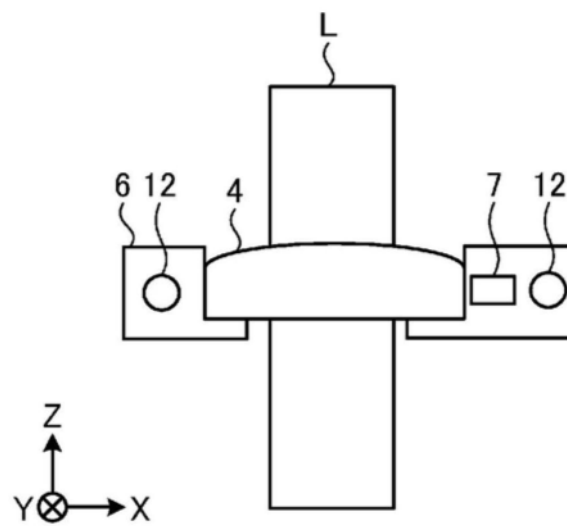


图2

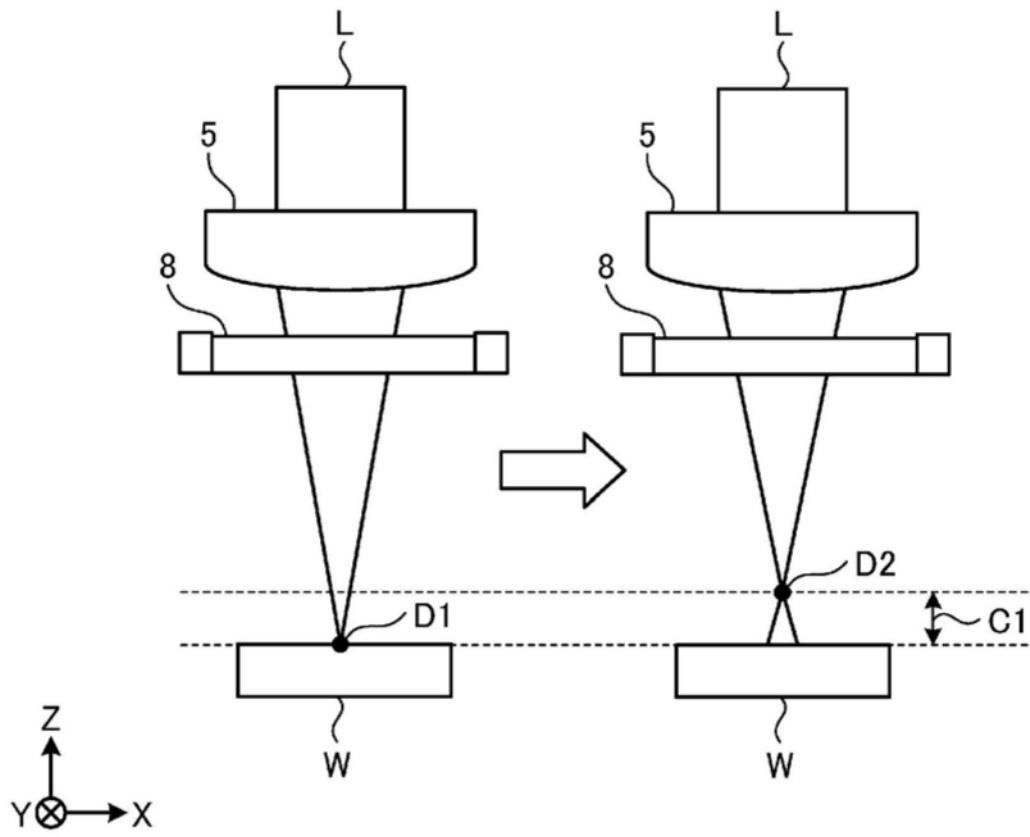


图3

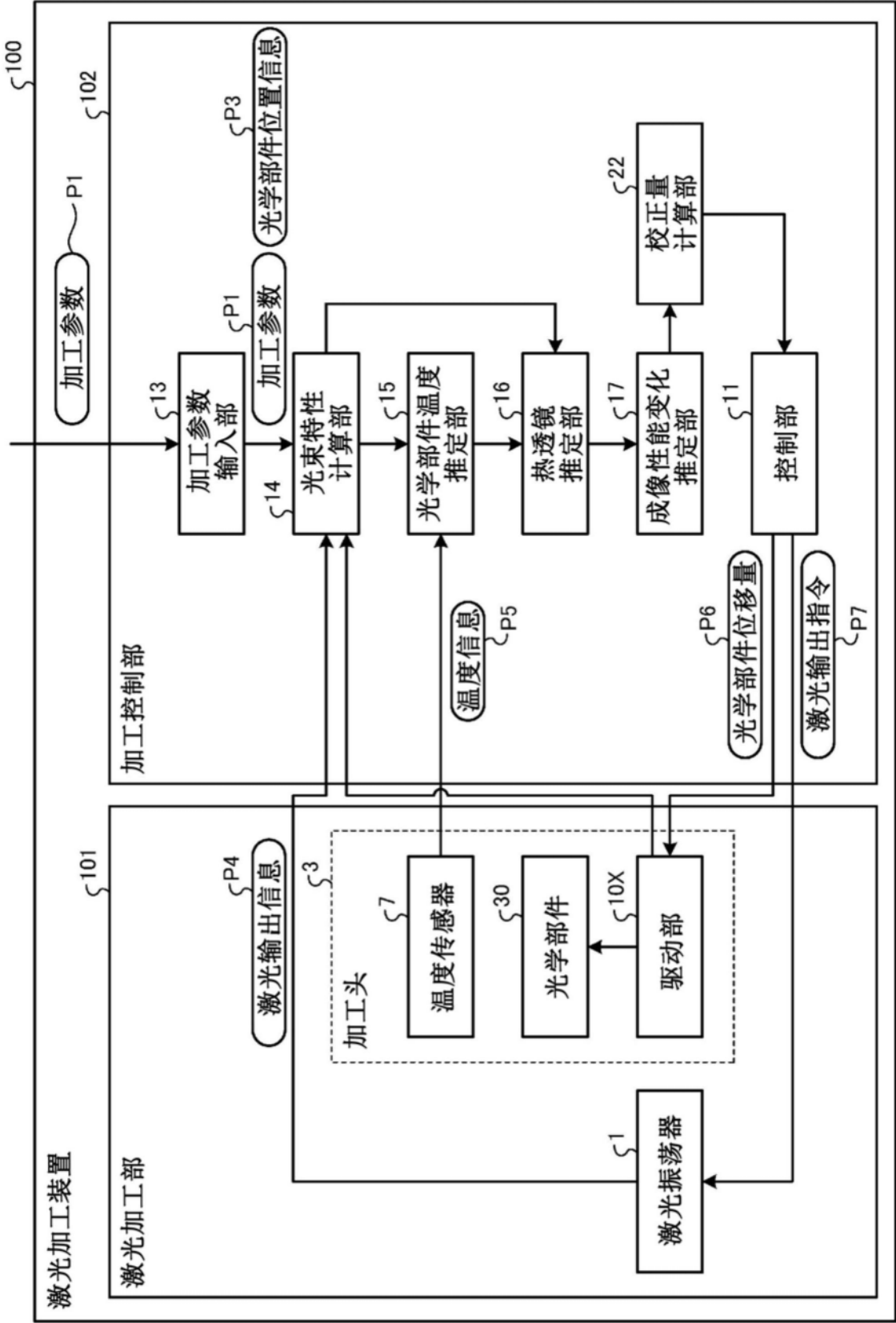


图4

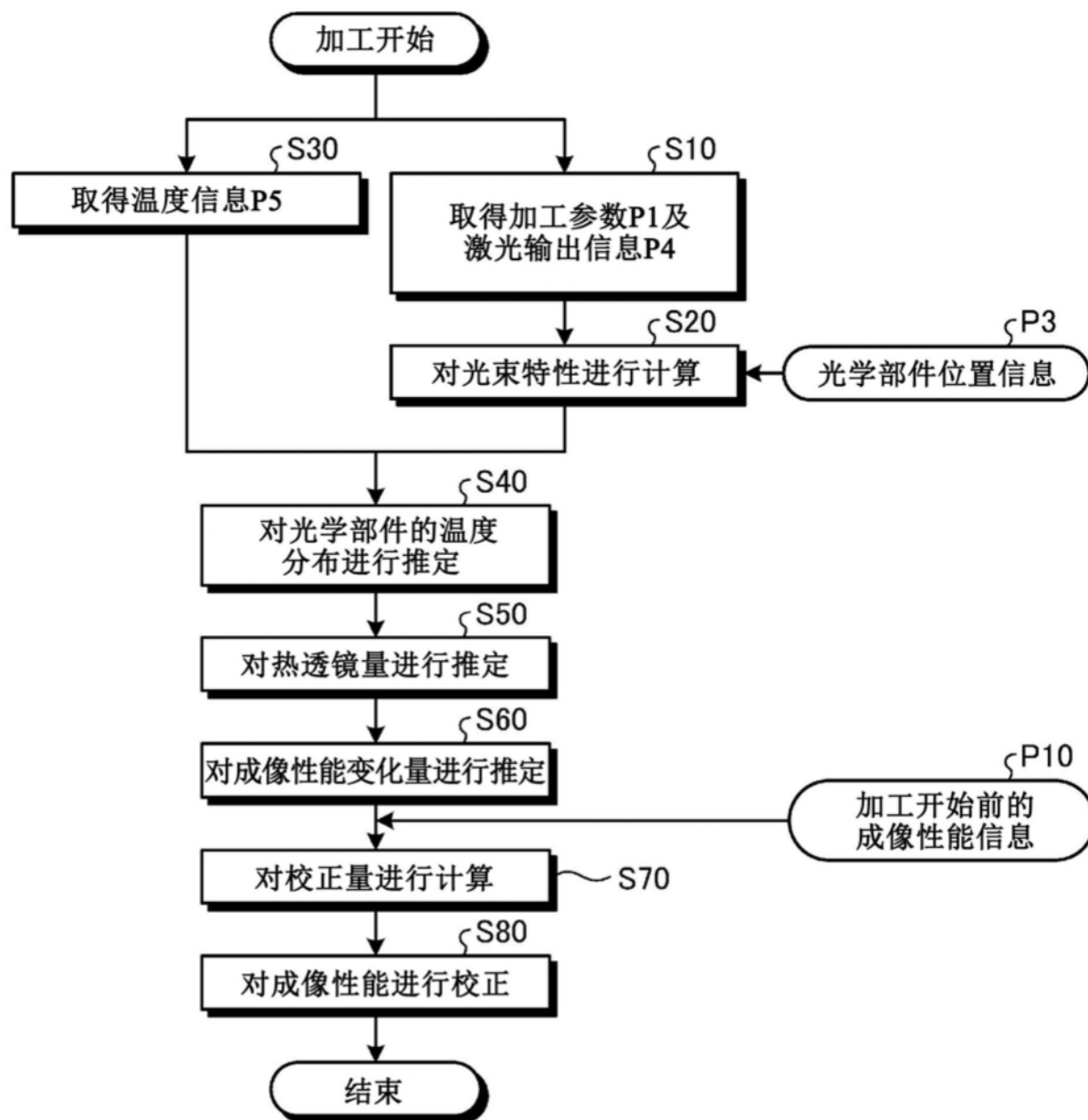


图5

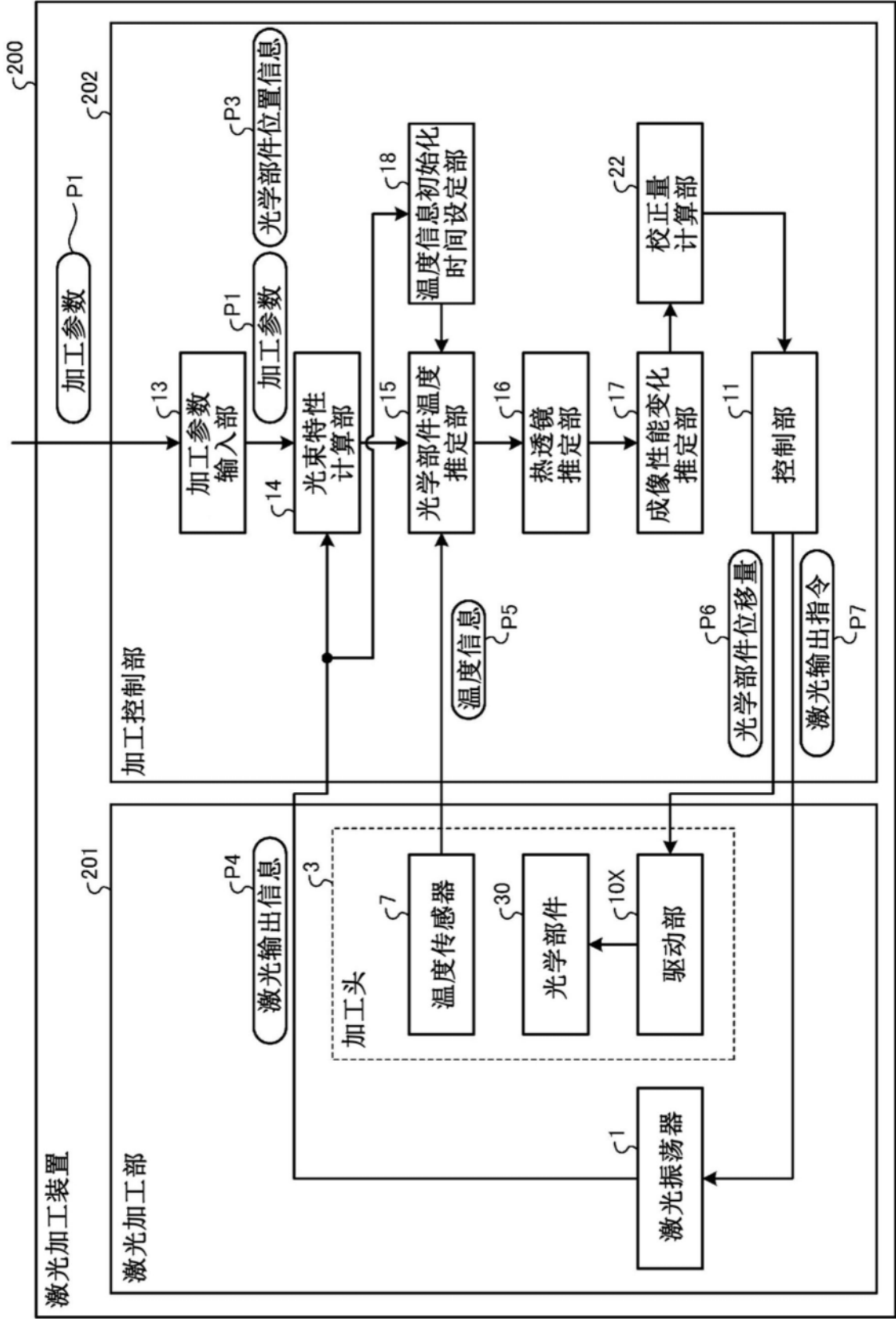


图6

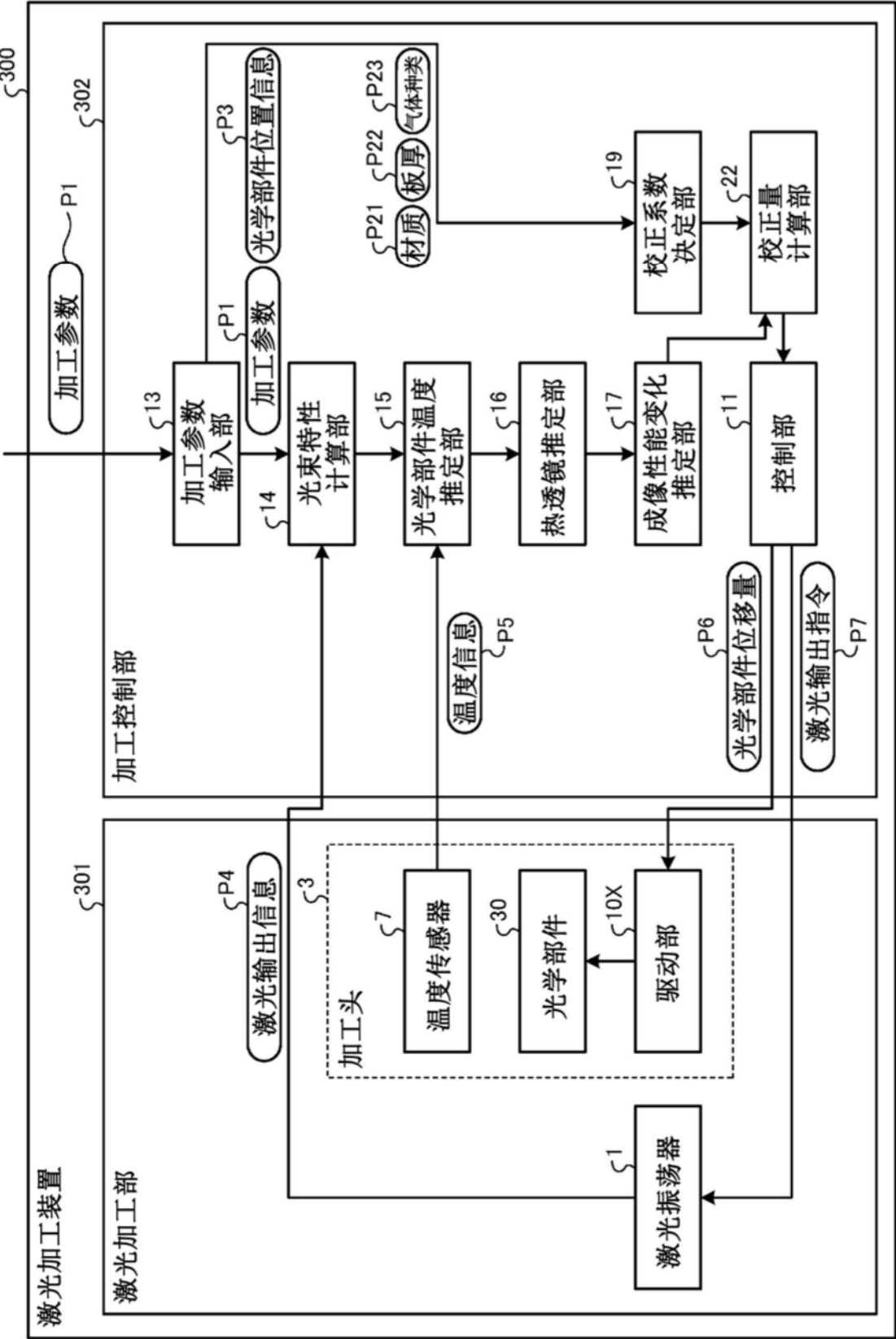


图7

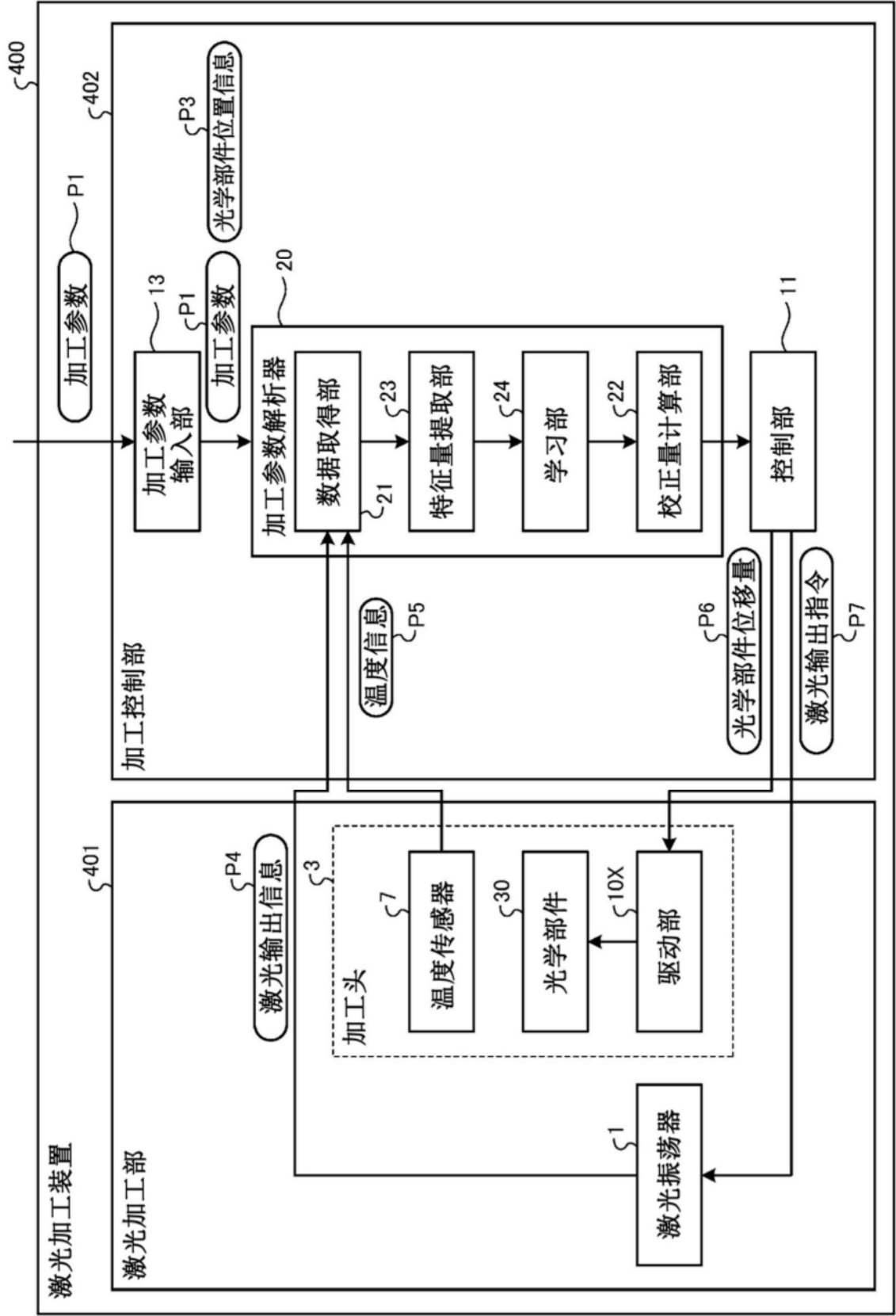


图8

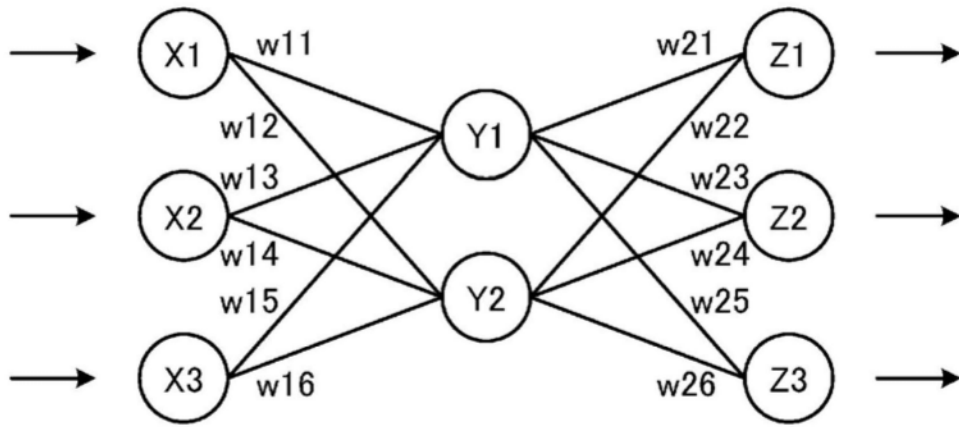


图9

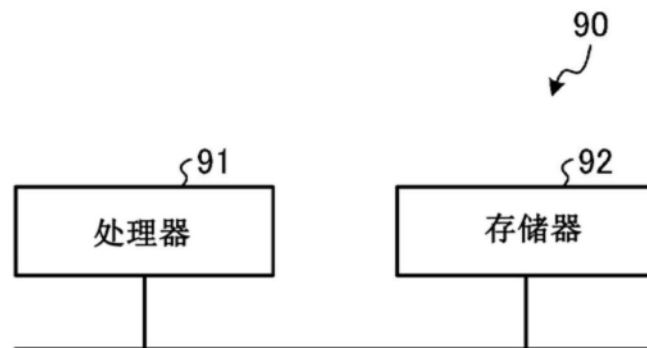


图10



图11