



# (12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 111670094 B

(45) 授权公告日 2022. 12. 06

(21) 申请号 201880088368.4  
 (22) 申请日 2018.11.27  
 (65) 同一申请的已公布的文献号  
 申请公布号 CN 111670094 A  
 (43) 申请公布日 2020.09.15  
 (30) 优先权数据  
 2018-016084 2018.02.01 JP  
 (85) PCT国际申请进入国家阶段日  
 2020.07.31  
 (86) PCT国际申请的申请数据  
 PCT/JP2018/043604 2018.11.27  
 (87) PCT国际申请的公布数据  
 W02019/150726 JA 2019.08.08  
 (73) 专利权人 本田技研工业株式会社  
 地址 日本东京都  
 (72) 发明人 石塚康孝 有光健 合田重音  
 吉田裕 村冈浩太郎

(74) 专利代理机构 北京华夏正合知识产权代理  
 事务所(普通合伙) 11017  
 专利代理师 韩登营 蒋国伟

(51) Int.Cl.  
 B25J 13/08 (2006.01)

(56) 对比文件  
 CN 102189550 A, 2011.09.21  
 CN 103909516 A, 2014.07.09  
 CN 106409120 A, 2017.02.15  
 CN 107491038 A, 2017.12.19  
 CN 105082132 A, 2015.11.25  
 JP H09258814 A, 1997.10.03  
 JP H06206127 A, 1994.07.26  
 JP 2015168050 A, 2015.09.28  
 US 2013197696 A1, 2013.08.01  
 US 2013338832 A1, 2013.12.19

审查员 张嘉凯

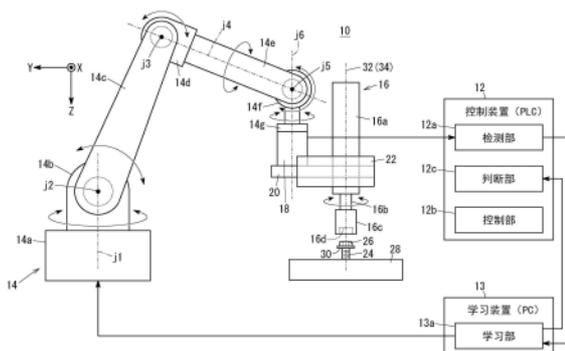
权利要求书2页 说明书17页 附图21页

## (54) 发明名称

机器人系统和机器人的控制方法

## (57) 摘要

在机器人系统(10)和机器人(14)的控制方法中,检测部(12a)在学习时检测使插口件(16c)与螺栓(24)的头部(26)的设定位置接触且在设定动作范围内相对于设定位置转动时的接触状态来作为学习用波形数据。学习部(13a)学习检测到的多个学习用波形数据,且将该学习结果写入判断部(12c)。判断部(12c)在实际作业时根据表示插口件(16c)与螺栓(24)的头部(26)接触时的接触状态的变化的实际波形数据和所写入的学习结果,来识别插口件(16c)相对于螺栓(24)的偏差。



1. 一种机器人系统,当传感器检测到机器人的末端执行器与工件的接触状态的变化时,该机器人系统根据该传感器检测到的所述接触状态的变化来推定所述末端执行器相对于所述工件的偏差量,且通过控制所述机器人和/或所述末端执行器来校正所述偏差量,

其特征在于,

具有控制部、检测部、学习部和判断部,其中,所述控制部控制所述机器人和/或所述末端执行器;所述检测部检测数据,该数据表示由所述控制部改变所述末端执行器与所述工件的接触状态时的所述接触状态的时间变化;所述学习部学习所述数据;所述判断部使用该学习部学习所述数据的学习结果来判断所述末端执行器对所述工件进行实际作业时的该末端执行器与所述工件的接触状态,

所述检测部针对所述工件的表面上多个设定位置中的各设定位置,预先检测使所述末端执行器与所述设定位置接触时所述传感器检测到的接触状态的变化、和使所述末端执行器在设定动作范围内对该设定位置进行摸索动作时所述传感器检测到的接触状态的变化来作为学习用数据,

所述学习部学习检测到的多个所述学习用数据,且将多个所述学习用数据的学习结果写入所述判断部,

在所述实际作业时,所述判断部获取所述末端执行器与所述工件的表面接触时所述传感器检测到的接触状态的变化,且根据获取到的所述接触状态的变化和所写入的所述学习结果来识别所述末端执行器相对于所述工件的偏差,

所述控制部根据所述判断部的判断结果来推定所述偏差量。

2. 根据权利要求1所述的机器人系统,其特征在于,

在所述实际作业时,所述检测部检测使所述末端执行器与所述工件的表面的任意位置接触时所述传感器检测到的接触状态的变化、和使所述末端执行器在任意动作范围内对该任意位置进行摸索动作时所述传感器检测到的接触状态的变化来作为实际数据,

所述判断部根据检测到的所述实际数据和所写入的所述学习结果中包含的与该实际数据类似的学习用数据的学习结果,来识别所述末端执行器相对于所述工件的偏差。

3. 根据权利要求2所述的机器人系统,其特征在于,

多个所述学习用数据按照所述末端执行器相对于所述工件的偏差的种类而具有不同的特征,

所述学习部针对多个所述学习用数据来学习与所述偏差的种类对应的不同的特征,

在所述实际作业时,所述判断部使用所述学习结果来判断所述实际数据所示的接触状态,据此确定与所述实际数据对应的偏差的种类,且使用所写入的所述学习结果中包含的与确定的所述偏差的种类对应的学习用数据的学习结果和所述实际数据,来识别所述末端执行器相对于所述工件的偏差。

4. 根据权利要求1~3中任一项所述的机器人系统,其特征在于,

所述控制部以使所述末端执行器与所述工件的接触状态不超过阈值的方式来控制所述机器人和/或所述末端执行器,或者由外力可动机构使所述末端执行器在可动范围内移动,据此来使所述末端执行器与所述工件接触。

5. 根据权利要求1~3中任一项所述的机器人系统,其特征在于,

所述传感器是被安装在所述机器人上的所述末端执行器附近的触觉传感器。

6. 根据权利要求5所述的机器人系统,其特征在于,

所述触觉传感器以与所述末端执行器的中心轴大致同轴的方式被安装于所述机器人、或者以该触觉传感器的轴与所述中心轴不同的状态被安装于所述机器人,

在所述触觉传感器的轴与所述中心轴不同的情况下,所述末端执行器通过所述触觉传感器被安装于所述机器人。

7. 根据权利要求1~3中任一项所述的机器人系统,其特征在于,

所述工件是被组装于对象物的部件或者被紧固于该对象物的部件,

所述末端执行器是用于将所述部件组装于所述对象物的工具或者将所述部件紧固于所述对象物的工具。

8. 一种机器人的控制方法,在该机器人的控制方法中,当传感器检测到机器人的末端执行器与工件的接触状态的变化时,根据该传感器检测到的所述接触状态的变化来推定所述末端执行器相对于所述工件的偏差量,且通过控制所述机器人和/或所述末端执行器来校正所述偏差量,

其特征在于,

具有第1步骤、第2步骤、第3步骤、第4步骤和第5步骤,

在所述第1步骤中,针对所述工件的表面上的设定位置,检测部检测使所述末端执行器与所述设定位置接触时所述传感器检测到的接触状态的变化、和使所述末端执行器在设定动作范围内对该设定位置进行摸索动作时所述传感器检测到的接触状态的变化,来作为学习用数据;

在所述第2步骤中,学习部学习检测到的所述学习用数据;

在所述第3步骤中,在依次反复执行所述第1步骤和所述第2步骤之后,将所述学习部学习多个所述学习用数据的学习结果写入判断部;

在所述第4步骤中,在所述末端执行器对所述工件进行实际作业时,所述判断部获取所述末端执行器与所述工件的表面接触时所述传感器检测到的接触状态的变化,且根据获取到的所述接触状态的变化和所写入的所述学习结果来识别所述末端执行器相对于所述工件的偏差;

在所述第5步骤中,控制部根据所述判断部的判断结果来推定所述偏差量。

## 机器人系统和机器人的控制方法

### 技术领域

[0001] 本发明涉及一种在使机器人的末端执行器(end effector)与工件接触来进行作业时对末端执行器相对于工件的偏差量进行校正的机器人系统(robot system)和机器人的控制方法。

### 背景技术

[0002] 现有技术中,在使机器人的末端执行器与工件接触来对该工件进行作业时,例如在对对象物与工件的组装作业或紧固作业中,由于工件的公差、工件的设置布局的偏差等不确定条件,有时无法对工件进行合适的作业。

[0003] 因此,在日本发明专利授权公报特许第4850956号、日本发明专利授权公报特许第6006256号和日本发明专利公开公报特开2017-94438号中公开了一种非接触检测型的控制装置,该非接触检测型的控制装置使用与机器人分体设置的摄像头来拍摄末端执行器和工件,且根据拍摄到的图像对基准位置、作业对象部位进行图像识别,据此来计算末端执行器的目标位置。

[0004] 另外,在日本发明专利公开公报特开2015-155126号中公开了一种接触检测型的控制装置,在末端执行器上安装有多个或者多轴检测型的力觉传感器的状态下,该接触检测型的控制装置事先设定使末端执行器对准目标位置(中心位置)的力觉值或者力矩值,在此后的实际作业中,对机器人或者末端执行器进行使其按照事先设定的力觉值或者力矩值的反馈控制(力觉模仿控制)。

### 发明内容

[0005] 然而,在日本发明专利授权公报特许第4850956号、日本发明专利授权公报特许第6006256号和日本发明专利公开公报特开2017-94438号的技术中,需要对上述的摄像头、末端执行器和工件的周边进行照明的照明装置、以及对摄像头拍摄到的图像进行处理的图像识别软件等。另外,还需要用于使末端执行器相对于工件的偏差量、照明装置的亮度变化、环境光的遮断等、摄像头拍摄到的图像稳定化的专用的系统设备、对拍摄到的图像进行处理的专用的计算机(PC)等附属设备。其结果,需要花费用于构筑机器人的控制系统的成本。

[0006] 另外,在日本发明专利公开公报特开2015-155126号的技术中,以按照事前设定的力觉值或者力矩值的方式来进行反馈控制,因此,能够廉价地构成控制系统。然而,由于直接检测与末端执行器相对于工件的偏差量对应的力的变化,因此,需要在机器人的顶端设置力觉传感器。在该情况下,实际作业时力觉传感器的配置受到制约。另外,需要将工件的与末端执行器接触的接触部分设定为C面等、需要使工件的表面与末端执行器对应。其结果,能适用的作业局限于销与孔的嵌合等特定的作业。并且,为了排除末端执行器与工件接触时的晃动的影响,每次进行实际作业时都需要设置专用的夹具和机械手,通用性低。

[0007] 本发明是考虑这种技术问题而完成的,其目的在于,提供一种低成本的通用性高的机器人系统和机器人的控制方法。

[0008] 本发明涉及一种机器人系统,当传感器检测到机器人的末端执行器与工件的接触状态的变化时,该机器人系统根据该传感器检测到的所述接触状态的变化来推定所述末端执行器相对于所述工件的偏差量,且通过控制所述机器人和/或所述末端执行器来校正所述偏差量。

[0009] 在该情况下,所述机器人系统具有控制部、检测部、学习部和判断部,其中,所述控制部控制所述机器人和/或所述末端执行器;所述检测部检测数据,该数据表示由该控制部改变所述末端执行器与所述工件的接触状态时的所述接触状态的时间变化;所述学习部学习所述数据;所述判断部使用该学习部学习所述数据的学习结果来判断所述末端执行器对所述工件进行实际作业时该末端执行器与所述工件的接触状态。

[0010] 并且,所述检测部针对所述工件的表面上多个设定位置中的各设定位置,预先检测使所述末端执行器与所述设定位置接触时所述传感器检测到的接触状态的变化、和使所述末端执行器相对于该设定位置在设定动作范围内进行摸索动作时所述传感器检测到的接触状态的变化来作为学习用数据。另外,所述学习部学习检测到的多个所述学习用数据,且将多个所述学习用数据的学习结果写入所述判断部。并且,在所述实际作业时,所述判断部获取所述末端执行器与所述工件的表面接触时所述传感器检测到的接触状态的变化,且根据获取到的所述接触状态的变化和所写入的所述学习结果来识别所述末端执行器相对于所述工件的偏差。所述控制部根据所述判断部的判断结果来推定所述偏差量。

[0011] 另外,本发明涉及一种机器人的控制方法,在该机器人的控制方法中,当传感器检测到机器人的末端执行器与工件的接触状态的变化时,根据该传感器检测到的所述接触状态的变化来推定所述末端执行器相对于所述工件的偏差量,且通过控制所述机器人和/或所述末端执行器来校正所述偏差量。该控制方法具有下述的第1~第5步骤。

[0012] 即,在所述第1步骤中,针对所述工件的表面上设定位置,检测部检测使所述末端执行器与所述设定位置接触时所述传感器检测到的接触状态的变化、和使所述末端执行器在设定动作范围内相对于该设定位置进行摸索动作时所述传感器检测到的接触状态的变化,来作为学习用数据。

[0013] 在所述第2步骤中,学习部学习检测到的所述学习用数据。

[0014] 在所述第3步骤中,在依次反复执行所述第1步骤和所述第2步骤之后,将所述学习部学习多个所述学习用数据的学习结果写入判断部。

[0015] 在所述第4步骤中,在所述末端执行器对所述工件进行实际作业时,所述判断部获取所述末端执行器与所述工件的表面接触时所述传感器检测到的接触状态的变化,且根据获取到的所述接触状态的变化和所写入的所述学习结果来识别所述末端执行器相对于所述工件的偏差。

[0016] 在所述第5步骤中,控制部根据所述判断部的判断结果来推定所述偏差量。

[0017] 这样,根据本发明,即使所述末端执行器相对于所述工件的偏差量是多维方向的偏差量,也能够根据单一的所述传感器检测到的所述接触状态的变化来识别所述末端执行器相对于所述工件的偏差,根据该识别结果(判断结果)来推定所述偏差量。因此,在本发明中,与上述的各公报的技术相比较,由于能够通过简单的系统结构来推定所述偏差量,因此能够以低成本来构筑高实装性的系统。

[0018] 另外,由于所述数据(所述学习用数据)是一维的时间变化的日志数据,因此,与上

述的各公报的技术相比较,易于对所获取到的所述接触状态的变化化的数据进行处理。其结果,能够不使用专用的计算机(PC)而在一般的FA设备中识别所述接触状态(所述偏差),且使用该识别结果(判断结果)来控制所述机器人和/或所述末端执行器。据此,能够实现高的系统运转率。

[0019] 并且,采用与用人手进行摸索作业同样的方法,所述机器人使所述末端执行器针对所述工件的多个设定位置进行摸索动作,据此,所述学习部学习多个所述数据,并且根据该学习结果和所述实际作业时获取到的接触状态的变化来识别所述偏差。据此,能够易于推定所述偏差量。其结果,与日本发明专利公开公报特开2015-155126号的技术相比较,针对工件的公差、工件的设置布局的偏差、工件的晃动等外部干扰的稳健性提高。

[0020] 并且,在本发明中,通过使用基于上述的人工智能的学习功能来反复进行所述设定动作范围内的所述学习用数据的获取和该学习用数据的学习,能够自主地获取接触状态的特征,进行所述偏差的识别和所述偏差量的推定。据此,能够减少用于推定该偏差量的判断逻辑的开发和调整所需的工时。其结果,能够实现系统的导入期间的缩短化。

[0021] 这样,根据本发明,与上述的各公报的技术相比较,能够以低成本实现通用性高的机器人系统和机器人的控制方法。

[0022] 在此,所述检测部在所述实际作业时,作为实际数据而检测使所述末端执行器与所述工件的表面的任意位置接触时所述传感器检测到的接触状态的变化、和使所述末端执行器相对于该任意位置在任意的动作范围内进行摸索动作时所述传感器检测到的接触状态的变化。据此,所述判断部根据检测到的所述实际数据和所写入的所述学习结果中包含的与该实际数据类似的学习用数据的学习结果,来识别所述末端执行器相对于所述工件的偏差。其结果,能够由所述控制部来高精度地推定所述偏差量。因此,在本发明中,能够易于构筑用于推定所述偏差量的识别判断处理系统。

[0023] 另外,多个所述学习用数据按照所述末端执行器相对于所述工件的偏差的种类而具有不同的特征。因此,所述学习部针对多个所述学习用数据,学习与所述偏差的种类对应的不同的特征。所述判断部在所述实际作业时,使用所述学习结果来判断所述实际数据所示的接触状态,据此确定与所述实际数据对应的偏差的种类。据此,所述判断部使用所写入的所述学习结果中包含的、与确定的所述偏差的种类对应的学习用数据的学习结果和所述实际数据,来识别所述末端执行器相对于所述工件的偏差。其结果,在所述控制部中,能够更高精度地推定所述偏差量。

[0024] 并且,所述控制部以使所述末端执行器与所述工件的所述接触状态不超过阈值的方式来控制所述机器人和/或所述末端执行器,或者由外力可动机构使所述末端执行器在可动范围内移动,据此,能够不损伤所述工件而使所述末端执行器与所述工件接触。

[0025] 另外,如果所述传感器是被安装在所述机器人上的所述末端执行器附近的触觉传感器,则能够易于检测所述接触状态的变化,并且能够进一步实现低成本化和该传感器的耐用性的提高。

[0026] 在该情况下,也可以为:所述触觉传感器与所述末端执行器的中心轴大致同轴地安装于所述机器人,或者以该触觉传感器的轴与所述中心轴不同的状态被安装于所述机器人。在所述触觉传感器的轴与所述中心轴不同的情况下,所述末端执行器可以通过所述触觉传感器被安装于所述机器人。在任一情况下都能够易于检测所述接触状态的变化。

[0027] 另外,所述工件是被组装于对象物的部件或者被紧固于该对象物的部件,如果所述末端执行器是将所述部件组装于所述对象物的工具或者将所述部件紧固于所述对象物的工具,则在所述对象物与所述部件的组装作业或紧固作业中,能够易于校正所述偏差量。

## 附图说明

[0028] 图1是本实施方式所涉及的机器人系统学习时的结构图。

[0029] 图2是本实施方式所涉及的机器人系统实际作业时的结构图。

[0030] 图3是图示出对图1和图2的插口件(socket)的接触力和通过该接触力使螺帽扳手沿Z方向直动的情况的机器人的结构图。

[0031] 图4是图示出设置有使图1~图3的插口件沿Z方向直动的直动机构的情况的概略立体图。

[0032] 图5是图4的直动机构的内部结构图。

[0033] 图6是图示出设置有使图1~图3的螺帽扳手沿Z方向直动的直动机构的情况的概略结构图。

[0034] 图7是图6的直动机构的概略结构图。

[0035] 图8A是表示螺帽扳手的插口件与螺栓接触前的状态的说明图,图8B是表示图8A的插口件与螺栓嵌合时的接触状态的说明图。

[0036] 图9A是表示插口件相对于螺栓发生平行偏差时插口件与螺栓接触前的状态的说明图,图9B是表示图9A的插口件与螺栓的接触状态的说明图。

[0037] 图10A是表示插口件相对于螺栓发生倾斜偏差时插口件与螺栓接触前的状态的说明图,图10B是表示图10A的插口件与螺栓的接触状态的说明图。

[0038] 图11A是表示插口件相对于螺栓发生相位偏差时插口件与螺栓的接触状态的说明图,图11B是图示出插口件与螺栓的接触部位的说明图。

[0039] 图12A是表示插口件相对于螺栓发生平行倾斜偏差时插口件与螺栓接触前的状态的说明图,图12B是表示图12A的插口件与螺栓的接触状态的说明图。

[0040] 图13是表示从接触前的状态开始到接触状态为止插口件与螺栓的接触力的时间变化的图。

[0041] 图14A~图14C是图示出插口件对螺栓的摸索动作一例的说明图。

[0042] 图15是表示组装或者紧固螺栓时作用于插口件的扭矩的变化的图。

[0043] 图16是表示组装或者紧固螺栓时作用于插口件的力矩的时间变化的图。

[0044] 图17是表示图1的机器人系统学习时的动作的流程图。

[0045] 图18是表示图1的机器人系统实际作业时的动作的流程图。

[0046] 图19是图示出插口件接触螺栓的接触状态的说明图。

[0047] 图20是学习时学习部获取到的学习用波形数据的图。

[0048] 图21是概略地图示出实际作业时的机器人系统的动作的流程图。

[0049] 图22是实际作业时学习部获取到的实际波形数据的图。

[0050] 图23是图示出插口件相对于螺栓的偏差量的校正动作的说明图。

## 具体实施方式

[0051] 下面, 示例出优选的实施方式, 且一边参照附图一边对本发明所涉及的机器人系统和机器人的控制方法进行说明。

[0052] [1. 本实施方式的结构]

[0053] 图1和图2是本实施方式所涉及的机器人系统10的结构图。

[0054] <1.1 机器人系统10的概要>

[0055] 机器人系统10具有: 控制装置12; 学习装置13; 机器人14, 其由控制装置12或者学习装置13控制; 螺帽扳手 (nut runner) 16, 其被安装于机器人14的顶端部, 作为机械手 (robot hand)、手工具 (hand tool) 等的末端执行器; 和传感器18, 其被安装在机器人14的顶端部。

[0056] 控制装置12由PLC (Programmable Logic Controller: 可编程逻辑控制器) 构成, 通过读出并执行被保存在未图示的存储器中的程序来实现检测部12a、控制部12b和判断部12c的功能。另外, 学习装置13主要由PC构成, 通过读出并执行被保存在未图示的存储器中的程序来实现学习部13a的功能, 学习部13a具有人工智能的学习功能。控制装置12和学习装置13能够进行双向数据通信。在该情况下, 在图1的学习时, 学习装置13一边控制机器人14一边进行规定的深度学习, 且将其学习结果供给至控制装置12。另一方面, 在学习后的图2的实际作业时, 控制装置12使用学习结果来控制机器人14和螺帽扳手16, 进行规定的作业。

[0057] 即, 在图1的学习时, 学习部13a控制机器人14, 检测部12a根据传感器18的检测结果来生成 (检测) 后述的波形数据 (学习用波形数据)。学习部13a学习由检测部12a检测到的学习用波形数据 (学习用数据), 且将其学习结果写入判断部12c。

[0058] 另一方面, 在图2的实际作业时, 控制部12b控制机器人14和螺帽扳手16, 检测部12a根据传感器18的检测结果来检测后述的波形数据 (实际波形数据)。判断部12c使用学习结果, 对由检测部12a检测到的实际波形数据 (实际数据) 进行规定的识别处理 (判断处理)。控制部12b根据判断部12c的识别结果 (判断结果) 来控制机器人14和螺帽扳手16, 据此使机器人14和螺帽扳手16进行规定的作业。

[0059] 因此, 需注意本实施方式所涉及的机器人系统10在学习时由学习部13a发挥控制部12b的功能。另外, 在机器人系统10中, 可以由1台PLC来实现控制装置12, 或者也可以使用多个PLC来分别分担检测部12a、控制部12b和判断部12c的各处理, 据此进行并行处理。总之, 从处理负荷的观点出发, 学习装置13和控制装置12是不同的装置即可, 其中, 所述学习装置13具有学习部13a; 所述控制装置12具有检测部12a、控制部12b和判断部12c。即, 在学习作业中需要非常多的存储容量和运算容量, 因此, PC主要作为学习装置13来发挥作用。另一方面, 在实际作业中, 使用学习结果的参数来进行规定的识别处理和控制处理, 因此有必要最小限度的存储容量和运算容量即可。因此, 作为一般的FA设备的PLC作为控制装置12来发挥作用。

[0060] <1.2 机器人系统10的各部的结构>

[0061] 在此, 对机器人系统10的各部的结构详细进行说明。

[0062] 机器人14例如可以是6轴的多关节机器人。即, 机器人14具有作为基端部即安装台的第1基座14a、第2基座14b、第1臂部14c、第1关节部14d、第2臂部14e、第2关节部14f、和作

为顶端部的末端执行器拆装部14g,且按该顺序连接。在末端执行器拆装部14g上安装有传感器18和螺帽扳手16。

[0063] 第2基座14b以能够以铅垂轴(重力方向的Z轴)即第1轴j1为中心旋回(可旋转)的方式被轴支承在第1基座14a上。第1臂部14c以能够以垂直相交于铅垂轴的水平轴(X轴或者Y轴)即第2轴j2为中心俯仰(可旋转)的方式被轴支承在第2基座14b上。第1关节部14d以能够以平行于第2轴j2的第3轴j3为中心俯仰(可旋转)的方式被轴支承在第1臂部14c的顶端部。第2臂部14e以能够以第4轴j4为中心旋转的方式被轴支承在第1关节部14d,其中,所述第4轴j4沿从第1关节部14d朝向第2臂部14e的顶端部的方向(长度方向)。第2关节部14f以能够以平行于第3轴j3的第5轴j5为中心旋转的方式被轴支承在第2臂部14e的顶端部。末端执行器拆装部14g以能够以第6轴j6为中心旋转的方式被轴支承在第2关节部14f,其中所述第6轴j6沿从第2关节部14f朝向顶端部的方向。

[0064] 传感器18例如是能检测6轴分量(X轴、Y轴和Z轴这3轴方向的力分量、X轴、Y轴和Z轴这3轴方向上的力矩分量)的触觉传感器。以使传感器18与第6轴j6大致同轴的方式,该传感器18的上表面被安装在末端执行器拆装部14g的顶端部。在传感器18的与末端执行器拆装部14g相反的底面上安装有螺帽扳手支承部件20。

[0065] 螺帽扳手支承部件20是沿与第6轴j6垂直相交的方向延伸的板状部件。传感器18的底面被安装在螺帽扳手支承部件20的一端部,螺帽扳手16以与第6轴j6大致平行的方式被安装在螺帽扳手支承部件20的另一端部。因此,螺帽扳手16通过螺帽扳手支承部件20和传感器18被安装在末端执行器拆装部14g。另外,在螺帽扳手支承部件20的两侧面上,侧板22沿螺帽扳手支承部件20的长度方向来设置,其中所述侧板22用于保持从螺帽扳手16和传感器18引出的未图示的配线。

[0066] 螺帽扳手16具有:柱状的驱动部16a,其被支承于螺帽扳手支承部件20;插口件(socket)16c,其被安装于从驱动部16a向下方延伸的螺帽扳手16的轴16b的顶端(下端),在驱动部16a的驱动下能够以该轴16b为中心进行旋转。驱动部16a以与第6轴j6大致平行且贯穿螺帽扳手支承部件20的状态被支承。因此,螺帽扳手16的轴16b以与第6轴j6大致平行的方式向下方延伸。插口件16c具有能够与作为工件的螺栓24的头部26嵌合的凹部16d。另外,螺栓24旋合于被配置在未图示的作业台上的车身、马达等对象物28的螺纹孔。

[0067] 另外,本实施方式所涉及的机器人系统10并不限于工件是螺栓24的情况,工件也可以是被组装于对象物28的部件、或者被紧固于该对象物28的部件。因此,在机器人系统10中,末端执行器并不限于螺帽扳手16,末端执行器也可以是将上述部件组装或者紧固于对象物28的工具(手工具)。即,机器人系统10除了能进行紧固作业之外,还能够通过机械手、手工具(末端执行器)进行各种组装作业,例如定位销的嵌合、耦合器与连接器的嵌合、螺栓与螺纹孔的对准、各种轴部件与孔的嵌合。另外,工件除了可以是紧固部件之外,也可以是嵌合或组装所使用的零部件。在以下的说明中,作为一例,对作为工件的螺栓24是带凸缘30的六角螺栓且作为末端执行器的螺帽扳手16的插口件16c的六边形的凹部16d与六角螺栓的头部26嵌合的情况进行说明。

[0068] 控制装置12的控制部12b通过向机器人14供给控制信号来驱动机器人14内部的未图示的马达,通过使马达的轴(第1~第6轴j1~j6)旋转来使该机器人14进行动作。据此,例如能够使插口件16c的凹部16d嵌合于螺栓24的头部26。另外,控制部12b通过向螺帽扳手16

供给控制信号来驱动螺帽扳手16的驱动部16a,使插口件16c以轴16b为中心进行旋转。据此,在插口件16c的凹部16d与螺栓24的头部26嵌合的情况下,能够进行螺栓24相对于对象物28的组装作业或紧固作业。

[0069] 当螺帽扳手16的插口件16c与螺栓24接触时,传感器18检测插口件16c相对于螺栓24的接触状态的变化,具体而言,依次检测该插口件16c从螺栓24受到的接触力(反力)的3轴分量、和接触力的力矩的3轴分量,且将这些6轴分量的检测结果依次输出给控制装置12。另外,传感器18能够检测插口件16c相对于螺栓24的接触状态的变化即可,因此,如图1所示,也可以不与螺帽扳手16同轴配置。当然,在与螺帽扳手16大致同轴配置的情况下,能够检测接触力的变化。

[0070] 另外,传感器18也可以是被设置在第1~第6轴j1~j6附近,检测马达的扭矩的扭矩传感器。在该情况下,多个扭矩传感器检测马达的扭矩,且将该检测结果输出给控制装置12。控制装置12的检测部12a也可以根据多个扭矩传感器的检测结果来推定插口件16c与螺栓24的接触力的变化。

[0071] 并且,传感器18能够检测插口件16c相对于螺栓24的接触状态的变化即可,因此,传感器18也可以是检测当插口件16c与螺栓24的接触状态变化时产生的声音的麦克风等音响传感器、检测插口件16c与螺栓24的接触状态发生变化时产生的振动的各种振动传感器。另外,在传感器18是音响传感器等非接触式传感器的情况下,该传感器18也可以不被安装于机器人14而被配置在插口件16c和螺栓24的附近。在任一情况下,控制装置12的检测部12a都能够根据传感器18的检测结果检测插口件16c与螺栓24的接触状态的时间变化作为波形数据。

[0072] 在以下的说明中,对使用被安装于机器人14的触觉传感器作为传感器18且由传感器18检测插口件16c接触螺栓24的接触状态的变化情况进行说明。

[0073] 在图1的学习时,学习装置13的学习部13a通过控制机器人14来执行使插口件16c与螺栓24的头部26接触的摸索动作。

[0074] 所述摸索动作是与由人手进行的摸索作业同样的方法,是指通过改变插口件16c相对于螺栓24的头部26的接触状态来使插口件16c的凹部16d和螺栓24的头部26嵌合的作业。因此,摸索动作可以是任何动作,只要是改变末端执行器(螺帽扳手16)与工件(螺栓24)的接触状态的动作即可。例如,能够通过插口件16c相对于后述的螺栓24的转动、使插口件16c相对于螺栓24在X方向和Y方向上并进的平动、螺栓24在紧固轴向(Z方向)上的扭转、或者组合了转动和平动的枢转来进行摸索动作。并且,还能够在末端执行器(螺帽扳手16)上安装未图示的振动施加机构,在使末端执行器与工件接触的状态下,由该振动施加机构对末端执行器施加各种振动(例如,超声波振动),据此来进行摸索动作。

[0075] 在进行摸索动作时,控制装置12的检测部12a根据从传感器18输入的6轴分量,例如,检测接触力F(参照图3和图4)的Z轴分量(接触力 $F_z$ )的时间经过作为学习用波形数据,且将检测到的学习用波形数据供给至学习部13a。学习部13a学习被供给的学习用波形数据的特征,且将该学习结果写入判断部12c。在后面学习部13a的功能、摸索动作的细节进行叙述。

[0076] 另一方面,在图2的实际作业时,控制装置12的控制部12b通过控制机器人14和螺帽扳手16来使插口件16c与螺栓24的头部26嵌合,使螺栓24旋合于对象物28。在该情况下,

检测部12a根据从传感器18输入的6轴分量,例如检测接触力 $F_z$ 的时间经过作为实际波形数据,且将检测到的实际波形数据向判断部12c供给。

[0077] 判断部12c使用学习时写入的学习结果来识别接收到的实际波形数据所示的接触状态,根据该识别结果来识别(判断)接触状态、即插口件16c相对于螺栓24的头部26有无偏差。判断部12c的识别结果(判断结果)被向控制部12b供给。控制部12b根据接收到的识别结果来推定插口件16c相对于螺栓24的头部26的偏差量,且将推定出的偏差量作为控制量来控制机器人14和螺帽扳手16。据此,能够准确地进行螺栓24相对于对象物28的组装作业或紧固作业。在后面对判断部12c的功能和实际作业的细节进行叙述。

[0078] 另外,在上述的说明中,对检测部12a在学习时检测学习用波形数据且在实际作业时检测实际波形数据的处理等进行了说明。在本实施方式中,还能够代替上述那样的波形数据的处理而使用基于数式处理等的数据处理。

[0079] 在该情况下,例如,检测部12a可以一方面在学习时根据从传感器18依次输入的6轴分量来检测接触力 $F_z$ 的数据作为学习用数据,另一方面在实际作业时根据从传感器18依次输入的6轴分量来检测接触力 $F_z$ 的数据作为实际数据。据此,学习部13a能够通过深度学习来学习学习用数据的特征,且将其学习结果写入判断部12c。另外,判断部12c能够使用所写入的学习结果,通过数式处理等来识别实际数据所示的接触状态,且根据其识别结果来识别插口件16c相对于螺栓24的头部26有无偏差。

[0080] 在以下的说明中,对一方面在学习时检测部12a检测学习用波形数据,另一方面在实际作业时检测部12a检测实际波形数据的情况进行说明。

[0081] 图1和图2概略图示螺帽扳手16周边的结构。在此,一边参照图3~图7一边对螺帽扳手16周边的具体结构进行说明。

[0082] 如图3所示,在插口件16c与螺栓24的头部26(参照图1和图2)接触的情况下,插口件16c承受接触力 $F$ ( $F_z$ )的载荷。在该情况下,需要以插口件16c与螺栓24的接触力 $F$ 不超过阈值的程度,一边使螺栓24和插口件16c接触一边减轻插口件16c的载荷。另外,所谓阈值是指不会损伤螺栓24的程度的接触力 $F$ 的上限值(对螺栓24施加的载荷的最大值)。

[0083] 因此,为了减轻伴随着与螺栓24的接触而在插口件16c上作用的载荷,考虑(1)通过根据传感器18的检测结果控制机器人14来使螺帽扳手16沿 $Z$ 方向(图1~图3的纸面的上方)移动,(2)使插口件16c或者螺帽扳手16向上方移动。图4~图7是将上述(2)的对应具体化的图,是将作为外力可动机构的直动机构27(参照图4和图5)或者直动机构29(参照图6和图7)设置于螺帽扳手16的图。

[0084] 图4和图5的直动机构27构成为,使插口件16c向 $Z$ 方向的行程量(移动量)相对于接触力 $F$ ( $F_z$ )的值呈线性变化。在该情况下,直动机构27被设置于螺帽扳手16的驱动部16a及轴16b、与插口件16c之间。

[0085] 直动机构27具有沿 $Z$ 方向延伸的带台阶的杆27a。杆27a的一端部与螺帽扳手16的轴16b嵌合。杆27a的另一端部被插入于沿 $Z$ 方向延伸的筒状的连结部件27b。连结部件27b在杆27a所插入的连结部件27b的一端部设置有凸缘。插口件16c的基端部嵌合于连结部件27b的另一端部。

[0086] 在杆27a的径向外侧配置有收装杆27a和连结部件27b的一端部侧的轴承座27c。轴承座27c是沿 $Z$ 方向延伸的带台阶的筒状部件,在驱动部16a侧的一端部形成有凸缘27d。凸

缘27d被固定于驱动部16a的一方的板体27e和插口件16c侧的另一方的板体27f夹持。在该情况下,通过用螺钉部件27g将2个板体27e、27f和凸缘27d紧固成一体,轴承座27c被固定于驱动部16a。

[0087] 在轴承座27c的内周面的凸缘27d侧与杆27a的外周面的一端部侧之间设置有2个轴承27h。另外,连结部件27b的一端部(凸缘)卡合于在轴承座27c的内周面上形成的突起27i。据此,阻止插口件16c和连结部件27b向比图5所示的位置靠插口件16c侧的位置突出。并且,弹簧27j被插在连结部件27b的一端部与杆27a的一端部之间。弹簧27j具有朝向插口件16c的方向(与接触力 $F_z$ 相反的方向)的弹性力(resilient force)。

[0088] 另外,通过将驱动部16a或者轴承座27c固定于螺帽扳手支承部件20(参照图1~图3),能够将螺帽扳手16和直动机构27支承于螺帽扳手支承部件20。

[0089] 在图4和图5的直动机构27中,在插口件16c与螺栓24的头部26接触而插口件16c受到接触力 $F_z$ 的情况下,该接触力 $F_z$ 经由插口件16c和连结部件27b传递给弹簧27j。其结果,弹簧27j在接触力 $F_z$ 的作用下,抵抗弹性力而向驱动部16a侧压缩。在该情况下,弹簧27j相对于接触力 $F_z$ 的值而沿Z方向呈线性变形。据此,能够使插口件16c和连结部件27b的行程量相对于接触力 $F_z$ 呈线性变化。因此,弹簧27j的压缩量为行程量、即插口件16c的可动范围。

[0090] 另一方面,在插口件16c与螺栓24的头部26的接触状态被解除的情况下,弹簧27j通过弹性力而使连结部件27b向插口件16c侧位移。其结果,插口件16c和连结部件27b回归到图5的位置。另外,在驱动部16a进行驱动而使轴16b旋转的情况下,杆27a、连结部件27b和插口件16c一体旋转。

[0091] 图6和图7所示的直动机构29构成为,螺帽扳手16整体向Z方向的行程量相对于接触力 $F(F_z)$ 的值呈线性变化。在该情况下,直动机构29被设置于螺帽扳手16的驱动部16a。

[0092] 直动机构29具有:基座下板29a,其与螺帽扳手支承部件20大致平行地延伸,且被固定在驱动部16a的下端部;和基座上板29b,其与螺帽扳手支承部件20大致平行地延伸,且被固定在驱动部16a的中央部。基座下板29a和基座上板29b由沿Z方向延伸的4根直动杆29c来连结。在该情况下,4根直动杆29c通过贯插于4个筒状的保持部29d来连结基座下板29a和基座上板29b,其中所述筒状的保持部29d沿Z方向贯穿螺帽扳手支承部件20而设置。在4根直动杆29c上分别设置有弹簧29e,该弹簧29e插在基座下板29a与保持部29d之间。各弹簧29e具有朝向插口件16c的方向(与接触力 $F_z$ 相反的方向)的弹性力。另外,在直动机构29中,设置有从基座下板29a贯穿螺帽扳手支承部件20而向上方延伸的多根杆29f。另外,直动机构29还具有减振器29g,该减振器29g被固定于螺帽扳手支承部件20,其顶端部连结于基座下板29a。

[0093] 因此,螺帽扳手16和直动机构29通过基座上板29b和保持部29d被支承于螺帽扳手支承部件20。

[0094] 在直动机构29中,在插口件16c与螺栓24的头部26(参照图1和图2)接触而插口件16c受到接触力 $F(F_z)$ 的情况下,该接触力 $F_z$ 经由插口件16c、轴16b、驱动部16a、基座下板29a传递给各弹簧29e和减振器29g。其结果,各弹簧29e在接触力 $F_z$ 的作用下,抵抗弹性力而向上方压缩。据此,构成直动机构29的基座下板29a、基座上板29b、直动杆29c及杆29f、和被固定在基座下板29a及基座上板29b上的螺帽扳手16沿Z方向一体地向上方位移。

[0095] 在该情况下,弹簧29e相对于接触力 $F_z$ 的值沿Z方向呈线性变形。据此,能够使基座

下板29a、基座上板29b、直动杆29c、杆29f和螺帽扳手16的行程量相对于接触力 $F_z$ 呈线性变化。因此,各弹簧29e的压缩量为行程量、即螺帽扳手16的可动范围。另外,减振器29g由于受到接触力 $F_z$ 而吸收在螺帽扳手16和基座下板29a产生的振动或冲击。

[0096] 另一方面,在插口件16c与螺栓24的头部26的接触状态被解除的情况下,弹簧29e通过弹性力而使基座下板29a向下方位移。其结果,基座下板29a、基座上板29b、直动杆29c、杆29f和螺帽扳手16回归到图6和图7的位置。

[0097] 另外,在以下的说明中,按照图1和图2的概略图对机器人系统10的结构和动作进行说明。因此,需注意:在一部分说明中,有时省略直动机构27、29的结构和动作。

[0098] [2. 与插口件16c和螺栓24的偏差有关的说明]

[0099] 在说明本实施方式所涉及的机器人系统10的动作之前,一边参照图8A~图16一边对在使用螺帽扳手16来进行螺栓24与对象物28的组装作业或者紧固作业时螺帽扳手16的插口件16c与螺栓24之间发生各种偏差的情况下的问题点等进行说明。在此,根据需要还一边参照图1和图2一边进行说明。

[0100] 图8A和图8B是在插口件16c与螺栓24之间没有发生各种偏差的情况下的说明图。另一方面,图9A~图12B是图示出在插口件16c与螺栓24之间发生一些偏差的情况的说明图。

[0101] 在图8A的情况下,插口件16c的中心轴32(图1和图2所示的螺帽扳手16的轴16b)与螺栓24的中心轴34大致同轴,没有发生后述的各种偏差。因此,当使插口件16c沿Z轴下降时,如图8B所示,插口件16c的凹部16d和螺栓24的头部26嵌合。在图8B中,由粗的实线来图示插口件16c与螺栓24的接触部位。即,在图8B中,插口件16c的凹部16d与螺栓24的头部26面接触,并且插口件16c的顶端与螺栓24的头部26的凸缘30线接触或者面接触。

[0102] 另一方面,图9A和图9B图示出插口件16c的中心轴32相对于螺栓24的中心轴34沿Y方向相对偏差的情况。下面,将2个中心轴32、34平行地相对偏差的情况称为“平行偏差”。在该情况下,当使插口件16c沿Z轴下降时,如图9B所示,插口件16c的顶端抵接于螺栓24的头部26,无法使插口件16c的凹部16d和螺栓24的头部26嵌合。即,插口件16c的顶端和螺栓24的头部26进行线接触或者面接触。另外,在平行偏差中,插口件16c能够进行以与螺栓24的头部26接触的接触部位为中心沿箭头方向转动的摸索动作。

[0103] 图10A和图10B图示出插口件16c的中心轴32相对于螺栓24的中心轴34倾斜角度 $\theta$ 的情况。下面,将相对于一方的中心轴而言,另一方的中心轴处于倾斜状态的情况称为“倾斜偏差”。在该情况下,当使插口件16c沿Z轴下降时,如图10B所示,螺栓24的头部26的一部分被插入插口件16c的凹部16d,插口件16c的顶端抵接于螺栓24的头部26的凸缘30。然而,无法使插口件16c的凹部16d和螺栓24的头部26嵌合。即,插口件16c的顶端和螺栓24的头部26的凸缘30进行点接触或者线接触。另外,在倾斜偏差中,插口件16c能够进行以与螺栓24的头部26的凸缘30接触的接触部位(在图10B中由大的点所示的部位)为中心沿箭头方向转动的摸索动作。

[0104] 图11A和图11B图示出插口件16c绕中心轴32旋转的相位和螺栓24绕中心轴34旋转的相位发生偏差的情况。下面,将插口件16c的相位和螺栓24的相位偏差的情况称为“相位偏差”。在该情况下,当使插口件16c沿Z轴下降时,成为螺栓24的头部26的一部分插入插口件16c的凹部16d的状态,无法使插口件16c的凹部16d和螺栓24的头部26嵌合。即,成为插

口件16c的凹部16d与螺栓24的头部26的6个顶点进行点接触的状态。在相位偏差中,在插口件16c的凹部16d与螺栓24的头部26的各顶点进行点接触的情况下,无法使插口件16c相对于螺栓24绕中心轴32、34旋转。另外,如果在相位偏差中也发生平行偏差,则成为与图9A和图9B同样的状况。

[0105] 图12A和图12B图示出插口件16c的中心轴32相对于螺栓24的中心轴34沿Y方向相对偏差,并且插口件16c的中心轴32相对于螺栓24的中心轴34倾斜角度 $\theta$ 的情况。即,图12A和图12B是图示出发生图9A及图9B的平行偏差和图10A及图10B的倾斜偏差双方的情况的图。下面,将这种偏差称呼为“平行倾斜偏差”。在该情况下,当使插口件16c沿Z轴下降时,如图12B所示,插口件16c的顶端抵接于螺栓24的头部26,无法使插口件16c的凹部16d和螺栓24的头部26嵌合。即,插口件16c的顶端和螺栓24的头部26进行点接触或者线接触。另外,在平行倾斜偏差中,插口件16c能够进行以与螺栓24的头部26接触的接触部位(在图12B中由大的点所示的部位)为中心沿箭头方向转动的摸索动作。

[0106] 图13是表示在图8A~图12B的情况下使插口件16c相对于螺栓24下降时从插口件16c开始下降起的经过时间与插口件16c对螺栓24的接触力(反力)的关系的图。图13的接触力例如是插口件16c从螺栓24受到的反力的Z方向分量(接触力 $F_z$ )。在此,将从插口件16c开始下降的时间点起到插口件16c与螺栓24的头部26抵接(接触)为止的经过时间(行程)称呼为到达时间。

[0107] 如图13所示,在任一情况下,直到达到到达时间为止,接触力 $F_z$ 为大致0水平,另一方面,在到达时间之后,接触力 $F_z$ 伴随着时间经过而呈直线性增加。但是,到达时间之后的接触力 $F_z$ 的时间变化(斜率)根据偏差的种类而具有不同的特征。

[0108] 具体而言,如图13中实线所示的那样,与发生各种偏差的情况(参照图9A~图12B)相比较,在没有发生各种偏差的情况下(参照图8A和图8B)的到达时间最长。即,这是由于在没有发生各种偏差的情况下,插口件16c到达螺栓24的头部26为止的移动距离最长。因此,在发生虚线所示的平行偏差(参照图9A和图9B)、双点划线所示的倾斜偏差(参照图10A和图10B)、单点划线所示的相位偏差(参照图11A和图11B)、以及虚线所示的平行倾斜偏差(参照图12A和图12B)的情况下,到达时间比没有发生偏差的情况下短。

[0109] 因此,通过针对图13比较到达时间和接触力 $F_z$ 的斜率,能够确定偏差的种类,掌握各种偏差的特征。例如,在没有发生偏差的情况下(图13的实线)和发生相位偏差的情况下(图13的单点划线),能够通过比较到达时间的不同来区分二者。另外,在发生平行偏差的情况下(图13的虚线)和发生相位偏差的情况下(图13的单点划线),能够通过比较接触力 $F_z$ 的斜率来区分二者。并且,在发生倾斜偏差的情况下(图13的双点划线),能够根据到达时间和接触力 $F_z$ 的斜率的不同来与其他结果进行区分。在发生平行倾斜偏差的情况下(图13的虚线),能够根据接触力 $F_z$ 的斜率最小的结果来与其他结果进行区分。

[0110] 如果根据以上结果预先确定各种偏差的特征,则在实际上由插口件16c对螺栓24进行组装作业或者紧固作业(实际作业)过程中,能够根据传感器18检测到的插口件16c与螺栓24的接触力 $F_z$ 和各种偏差的特征的比较,确定所发生的偏差的种类,对实际上发生的偏差量进行校正,使插口件16c和螺栓24正常嵌合。另外,还能够判断插口件16c和螺栓24是否已嵌合。

[0111] 图14A~图14C是图示出由机器人14进行插口件16c对螺栓24的摸索动作的说明

图。图14A~图14C图示出平行偏差(参照图9A和图9B)的情况作为一例。通过根据图14A的插口件16c与螺栓24的接触状态控制机器人14,使插口件16c以图14A的纸面上的大的点所示的接触部位为中心向逆时针方向转动,于是,成为图14B和图14C的状态。在该情况下,螺栓24的头部26的上端与插口件16c的下端之间的间隔为插口件16c与螺栓24的干涉范围 $d_i$ 。

[0112] 机器人系统10由于具有直动机构27、29(参照图4~图7),因此,弹簧27j、29e压缩与干涉范围 $d_i$ 相应的量,转换为插口件16c或者螺帽扳手16向Z方向的行程量。据此,在通过摸索动作使插口件16c进行转动的情况下,直动机构27、29按照接触力 $F_z$ 的值使插口件16c或者螺帽扳手16沿Z方向直动,因此,能够减轻插口件16c的载荷。

[0113] 另外,接触力 $F_z$ 经由弹簧27j、29e和螺帽扳手支承部件20等传递给被安装于螺帽扳手支承部件20的传感器18。据此,即使传感器18与插口件16c的中心轴32不同轴,也能够易于检测接触力 $F_z$ 。另外,在机器人系统10中,并不限于上述的平行偏差,即使在其他种类的偏差(参照图10A~图12B)的情况下,也能够在进行摸索动作时减轻插口件16c的载荷,并且检测接触力 $F_z$ 。

[0114] 图15是表示使插口件16c绕中心轴32旋转,将螺栓24紧固于对象物28的情况下旋转角度 $\Phi$ 与作用于插口件16c的扭矩的关系的图。在该情况下,旋转角度 $\Phi$ 是与时间对应的角度。实线是在中心轴32、34大致同轴的状态(参照图8B)下使插口件16c旋转时的结果。另外,虚线是在发生平行偏差(参照图9B)或啮合的状态下使插口件16c旋转时的结果。并且,单点划线是在插口件16c不与螺栓24接触的状态下使该插口件16c旋转时的结果。

[0115] 如果是图15的实线的结果,则能够使用插口件16c来正常地紧固螺栓24。因此,通过比较实线的正常结果和实际的紧固动作的结果,能够检测有无发生偏差、组装作业或者紧固作业有无发生异常。

[0116] 图16是表示在使用插口件16c紧固螺栓24的情况下作用于插口件16c的力矩的时间变化的图。实线表示插口件16c与螺栓24嵌合的状态下的结果,虚线是发生相位偏差(参照图11A和图11B)的状态下的结果。如果是图16的实线的结果,则能够使用插口件16c来正常地紧固螺栓24。因此,通过比较实线的正常的结果和实际的紧固动作的结果,能够识别插口件16c和螺栓24是否处于正常的接触状态。

[0117] [3. 本实施方式的动作]

[0118] 因此,一边参照图17~图23一边对适用上述见解的本实施方式所涉及的机器人系统10的动作(机器人14的控制方法)进行说明。在该动作说明中,根据需要,还一边参照图1~图16一边进行说明。在此,对用于校正在实际作业中发生的偏差量而将螺栓24适宜地紧固于对象物28的动作进行说明。另外,在图17~图23的说明中,主要针对发生倾斜偏差的情况、即传感器18检测插口件16c对螺栓24的反力(接触力)的情况进行说明。另外,需注意:在将螺栓24组装于对象物28的情况下,也进行与图17~图23同样的动作。

[0119] 在机器人系统10中,按照图17的流程来进行各种偏差等的学习。首先,在图17的步骤S1中,学习装置13的学习部13a向机器人14供给与学习条件的数据对应的控制信号来驱动马达。据此,机器人14开始进行动作,使安装于末端执行器拆装部14g的螺帽扳手16开始下降,据此开始插口件16c的位置控制。另外,传感器18开始检测插口件16c与螺栓24的接触状态(例如,接触力(反力))。传感器18将检测结果依次输出给控制装置12。另外,在图17中,使用与在后述的实际作业使用的插口件16c和螺栓24相同种类的插口件16c和螺栓24。

[0120] 在该情况下,直到插口件16c抵接于螺栓24的头部26为止,从传感器18向控制装置12依次输出大致0水平的检测结果。另外,控制装置12的检测部12a从螺帽扳手16开始下降的下降开始时刻起开始进行计时,将来自传感器18的检测结果(接触力)和从下降开始时刻起经过的经过时间建立关联,而存储在未图示的存储器中。

[0121] 当插口件16c抵接于螺栓24时,插口件16c按压螺栓24的头部26,因此从螺栓24受到反力。在螺帽扳手16上设置有直动机构27、29,该直动机构27、29按照反力(接触力)的值使插口件16c或者螺帽扳手16沿Z方向进行直动。因此,即使在插口件16c从螺栓24受到接触力的情况下,也能够减轻该插口件16c的载荷。

[0122] 传感器18检测从螺帽扳手16或者直动机构27、29经由螺帽扳手支承部件20传递的接触力,且将该检测结果依次输出给检测部12a。检测部12a能够根据插口件16c与螺栓24的头部26的接触力的大小(例如,作为Z方向分量的接触力 $F_z$ )与经过时间的关系,来识别插口件16c抵接于螺栓24的情况。即,检测部12a能够根据经过时间和接触力 $F_z$ 来得到接触力 $F_z$ 的时间变化的结果。

[0123] 在接着的步骤S2(第1步骤)中,学习部13a以以下方式控制机器人14:在插口件16c与螺栓24的头部26抵接的状态下,如图19所示,例如以在Y-Z平面上插口件16c与螺栓24的头部26的抵接位置(由大的点所示的设定位置)为中心,进行使插口件16c沿顺时针方向和逆时针方向转动的摸索动作。另外,在图19中,d是插口件16c与螺栓24的头部26接触的接触部位和中心轴34之间的间隔。在步骤S2的摸索动作中,可以适宜地设定使插口件16c相对于设定位置转动的方向的顺序、和使插口件16c相对于设定位置转动的范围(设定动作范围)。另外,控制部12b以接触力不会超过规定阈值的方式来控制机器人14,使插口件16c与螺栓24的头部26接触。另外,所谓阈值是指,不损害螺栓24的程度的接触力的上限值(对螺栓24施加的载荷的最大值)。

[0124] 在该情况下,传感器18也依次检测插口件16c与螺栓24的头部26的接触力,且将其检测结果输出给控制装置12。检测部12a将依次输入的传感器18的检测结果与经过时间建立关联而存储在存储器中。其结果,检测部12a能够收集(检测)表示图20所示的经过时间与接触力(Z方向分量的接触力 $F_z$ )的关系的波形数据(学习用波形数据)。并且,检测部12a将检测到的学习用波形数据向学习部13a供给。另外,插口件16c进行以设定位置为中心沿顺时针方向和逆时针方向转动的摸索动作,因此,学习用波形数据的横轴即经过时间成为与螺栓24相对于中心轴32的角度 $\theta$ 对应的的时间。

[0125] 在接着的步骤S3(第2步骤)中,学习部13a通过深度学习来学习收集到的学习用波形数据。在该情况下,学习部13a通过周知的神经网络来学习学习用波形数据的特征、即由于偏差而导致的接触力 $F_z$ 的时间变化的特征(图20的波形的倾向)。另外,深度学习的方法是公知的,因此,省略其详细说明。

[0126] 在接着的步骤S4中,学习部13a判断是否对学习用波形数据反复进行深度学习。在与实际作业中假想的各种偏差对应的波形的学习没有完成的情况下,学习部13a判断为需要进一步的学习(步骤S4:是)。然后,学习部13a返回步骤S1,进行用于进行进一步的学习的摸索动作。

[0127] 如图13、图15和图16所示,接触力 $F_z$ 的时间变化(斜率)、扭矩的变化和力矩的时间变化分别根据偏差的种类而不同。因此,通过反复进行步骤S1~S4的处理,学习部13a能够

可靠地学习与同一偏差对应的波形的特征、与不同的偏差种类对应的波形的特征。即,学习部13a能够通过按照偏差的种类反复进行步骤S1~S4的处理,来学习与各种偏差对应的特征。

[0128] 另外,图20是使反复进行步骤S1~S4的处理时的多个学习用波形数据重叠的图。另外,在本实施方式中,变更在螺栓24的头部26的表面上的设定位置来进行步骤S1~S4的处理,据此,能按多个设定位置的每一设定位置获取学习用波形数据,由学习部13a学习偏差的特征。并且,在本实施方式中,通过反复进行步骤S1~S4的处理,检测部12a检测图13、图15和图16的结果作为学习用波形数据,学习部13a还能够学习这些学习用波形数据。

[0129] 另一方面,在判断为已充分进行与在实际作业中假想的各种偏差对应的波形的学习的情况下(步骤S4:否),学习部13a进入下一步骤S5。在步骤S5中,学习部13a结束使用学习用波形数据的深度学习,并且指示机器人14结束插口件16c与螺栓24的接触动作。据此,机器人14使螺帽扳手16向上方退避,使插口件16c离开螺栓24的头部26。

[0130] 在这样收集学习用波形数据,预先学习了波形的特征之后的步骤S6(第3步骤)中,学习部13a将多个学习用波形数据的学习结果写入判断部12c。在此之后,在机器人系统10中,进行图18的流程图所示的实际作业。图21是图示出实际作业的过程的概要的说明图,其大致与图18的各步骤对应。

[0131] 在图18的步骤S11中,控制部12b控制机器人14,使螺帽扳手16下降,且使插口件16c抵接于螺栓24的头部26,据此,开始使用插口件16c进行螺栓24的紧固动作。据此,在接着的步骤S12中,螺帽扳手16的驱动部16a进行驱动,轴16b和插口件16c绕中心轴32进行旋转,进行将螺栓24紧固于对象物28的作业。

[0132] 在接着的步骤S13中,检测部12a收集(检测)作用于图15所示的插口件16c的扭矩的波形数据(实际波形数据)。另外,检测部12a能够使用传感器18检测出的力矩分量来计算扭矩。检测到的实际波形数据被向判断部12c供给。

[0133] 在接着的步骤S14中,判断部12c根据接收到的实际波形数据、和事先写入的学习结果中与扭矩有关的学习用波形数据的学习结果,来判断实际波形数据是否是有一些偏差的异常波形。在该情况下,例如如果实际波形数据是图15的虚线所示的波形数据,则判断部12c判断为是异常波形(步骤S14:是),进入步骤S15。

[0134] 在接着的步骤S15中,由于是异常波形,因此,判断部12c启动重试模式,该重试模式是用于针对螺栓24来校正插口件16c的偏差,而修正为正常的紧固状态的模式。

[0135] 在重试模式下,在步骤S16中,控制部12b根据判断部12c的判断结果,控制机器人14来执行插口件16c对螺栓24的摸索动作。在该情况下,可以进行与图17的步骤S2同样的摸索动作。

[0136] 据此,在步骤S17中,传感器18检测插口件16c与螺栓24的接触状态,且将其检测结果依次输出给检测部12a。其结果,检测部12a能够检测表示图22所示的接触力 $F_z$ 与时间的关系的实际波形数据。然后,检测部12a将检测到的实际波形数据向判断部12c供给。

[0137] 当在步骤S18(第4步骤)中向判断部12c供给实际波形数据时,在接着的步骤S19中,判断部12c根据接收到的实际波形数据和预先写入的学习结果中与接触力有关的学习用波形数据(参照图20)的学习结果,来识别实际波形数据所示的插口件16c与螺栓24的接触状态、即插口件16c相对于螺栓24的偏差,并且确定偏差的种类。判断部12c对该偏差的识

别结果(判断结果)被供给至控制部12b。

[0138] 在接着的步骤S20(第5步骤)中,控制部12b根据步骤S19的识别结果(判断结果)来计算(推定)插口件16c相对于螺栓24的偏差量。在接着的步骤S21中,控制部12b将推定出的偏差量作为控制量来控制机器人14,据此,如图21和图23所示,以使插口件16c的中心轴32和螺栓24的中心轴34大致同轴的方式来校正偏差量。

[0139] 在接着的步骤S22中,判断部12c判断通过步骤S21校正插口件16c的位置的结果,插口件16c和螺栓24是否已嵌合。在该情况下,例如,可以由检测部12a检测图13所示的实际波形数据,在判断部12c中根据检测到的波形数据和与图13对应的学习用波形数据的学习结果,来判断插口件16c和螺栓24有无嵌合。

[0140] 在判断为插口件16c和螺栓24没有嵌合的情况下(步骤S22:否),返回步骤S16,继续执行重试模式。另一方面,在判断为插口件16c和螺栓24嵌合的情况下(步骤S22:是),进入步骤S23,判断部12c结束重试模式,并且将步骤S22中的判断结果通知给控制部12b。控制部12b通过控制螺帽扳手16来使轴16b和插口件16c旋转,执行螺栓24的紧固作业。

[0141] 并且,在对象物28和螺栓24旋合,该螺栓24的紧固完成的情况下(步骤S24:是),在步骤S25中,控制部12b使螺帽扳手16的驱动停止,并且控制机器人14使螺帽扳手16向上方退避,使插口件16c离开螺栓24的头部26。据此,对螺栓24的一系列紧固动作完成。另外,步骤S24中的螺栓24的紧固完成的判断例如可以为,在由传感器18检测到的接触力达到规定值的情况下判断为紧固完成,或者当从开始紧固作业起经过规定时间时判断为紧固完成。

[0142] 另外,当在步骤S24中判断为螺栓24的紧固没有完成时(步骤S24:否),返回步骤S12,再次执行步骤S12以后的处理。另外,当在步骤S14中实际波形数据不是异常波形时(步骤S14:否),判断部12c判断为插口件16c和螺栓24嵌合,跳过步骤S15~S23的处理,执行步骤S24的处理。

[0143] 这样,在上述的动作中,仅在步骤S14中为表示发生偏差的异常的实际波形数据的情况下启动步骤S15~S22的重试模式,进行偏差的校正,因此,能够一边将循环时间的影响抑制在最小限度一边提高螺栓24的紧固的成功率。

[0144] 在上述的动作说明中,主要对倾斜偏差(参照图10A和图10B)的情况进行了说明。另一方面,在平行偏差(参照图9A和图9B)的情况下,可以在步骤S21中控制机器人14,使插口件16c沿X方向或者Y方向平行移动,以使2个中心轴32、34大致同轴。另外,在相位偏差(参照图11A和图11B)的情况下,可以在步骤S21中控制螺帽扳手16,使插口件16c绕中心轴32旋转,以使插口件16c的凹部16d和螺栓24的头部26成为相同相位。并且,在平行倾斜偏差(参照图12A和图12B)的情况下,可以在步骤S21中,通过适用倾斜偏差和平行偏差中的偏差量的校正方法来将2个中心轴32、34校正为大致同轴。

[0145] [4. 本实施方式的效果]

[0146] 如以上说明的那样,根据本实施方式所涉及的机器人系统10和机器人14的控制方法,即使被安装在螺帽扳手16的轴16b上的插口件16c相对于螺栓24的偏差量是多维方向的偏差量,也能够根据单一的传感器18检测到的插口件16c与螺栓24的接触状态的变化来识别插口件16c相对于螺栓24的偏差,且根据该识别结果(判断结果)来推定偏差量。因此,在本实施方式中,与上述的各公报的技术相比较,能够由简单的系统结构来推定偏差量。其结果,能够以低成本来构筑高实装性的系统。

[0147] 另外,由于学习用波形数据是一维的时间变化的日志数据,因此,与上述的各公报的技术相比较,易于对所获取到的接触状态的变化的数据进行处理。其结果,能够不使用专用的计算机(PC)而在一般的FA设备中识别接触状态(偏差),且使用该识别结果(判断结果)来控制机器人14和/或螺帽扳手16。据此,能够实现高的系统运转率。

[0148] 并且,采用与用人手进行摸索作业同样的方法,机器人14使插口件16c针对螺栓24的多个设定位置进行摸索动作,据此,学习部13a学习多个学习用波形数据,并且,在判断部12c中,根据该学习结果和实际作业时获取到的接触状态的变化(实际波形数据)来识别偏差。据此,在控制部12b中能够容易地推定偏差量。其结果,与日本发明专利公开公报特开2015-155126号的技术相比较,针对螺栓24的公差、螺栓24的设置布局的偏差、螺栓24的晃动等外部干扰的稳健性提高。

[0149] 另外,在本实施方式中,通过使用基于人工智能的学习功能来反复进行设定动作范围内的学习用波形数据的获取和该学习用波形数据的学习,能够自主地获得接触状态的特征,进行偏差的识别和偏差量的推定。据此,能够减少用于推定该偏差量的判断逻辑的开发和调整所需的工时。其结果,能够实现机器人系统10的导入期间的缩短化。

[0150] 这样,在本实施方式中,与上述的各公报的技术相比较,能够以低成本实现通用性高的机器人系统10和机器人14的控制方法。

[0151] 在此,检测部12a在实际作业时检测使插口件16c与螺栓24的表面的任意位置接触时传感器18检测到的接触状态的变化、和使插口件16c针对该任意位置在任意动作范围进行摸索动作时传感器18检测到的接触状态的变化来作为实际波形数据。据此,判断部12c根据检测到的实际波形数据和所写入的学习结果中包含的、与该实际波形数据类似的学习用波形数据的学习结果来识别插口件16c相对于螺栓24的偏差。其结果,能够由控制部12b高精度地推定偏差量。因此,在本实施方式中,能够易于构筑用于推定偏差量的识别判断处理系统。

[0152] 另外,多个学习用波形数据根据插口件16c相对于螺栓24的偏差的种类而具有不同的特征。因此,学习部13a针对多个学习用波形数据学习与偏差的种类对应的不同特征。判断部12c在实际作业时使用学习结果来判断实际波形数据所示的接触状态,据此确定与实际波形数据对应的偏差的种类。据此,判断部12c使用所写入的学习结果中包含的、与特定的偏差的种类对应的学习用波形数据的学习结果和实际波形数据,来识别插口件16c相对于螺栓24的偏差。其结果,在控制部12b中,能够更高精度地推定偏差量。

[0153] 并且,控制部12b以使插口件16c与螺栓24的接触状态不超过阈值的方式控制机器人14和/或螺帽扳手16,或者由直动机构27、29使插口件16c或者螺帽扳手16在可动范围内(弹簧27j、29e的压缩量的范围内)移动,据此能够不损伤螺栓24而使插口件16c与螺栓24接触。

[0154] 另外,由于传感器18是被安装在机器人14的螺帽扳手16附近的触觉传感器,因此能够易于检测接触状态的变化,并且能够进一步实现低成本化和该传感器18的耐用性的提高。

[0155] 在该情况下,也可以为,传感器18与中心轴32大致同轴地安装于机器人14,或者以该传感器18的轴与中心轴32不同的状态安装于机器人14。在传感器18的轴与中心轴32不同的情况下,螺帽扳手16通过传感器18被安装于机器人14。在任一情况下均能够易于检测接

触状态的变化。

[0156] 并且,在本实施方式中,使用插口件16c来组装或者紧固螺栓24,因此,在对象物28与螺栓24的组装作业或紧固作业中,能够容易地校正偏差量。

[0157] 另外,本发明并不限定于上述的实施方式,当然能够根据本说明书的记载内容而采用各种结构。

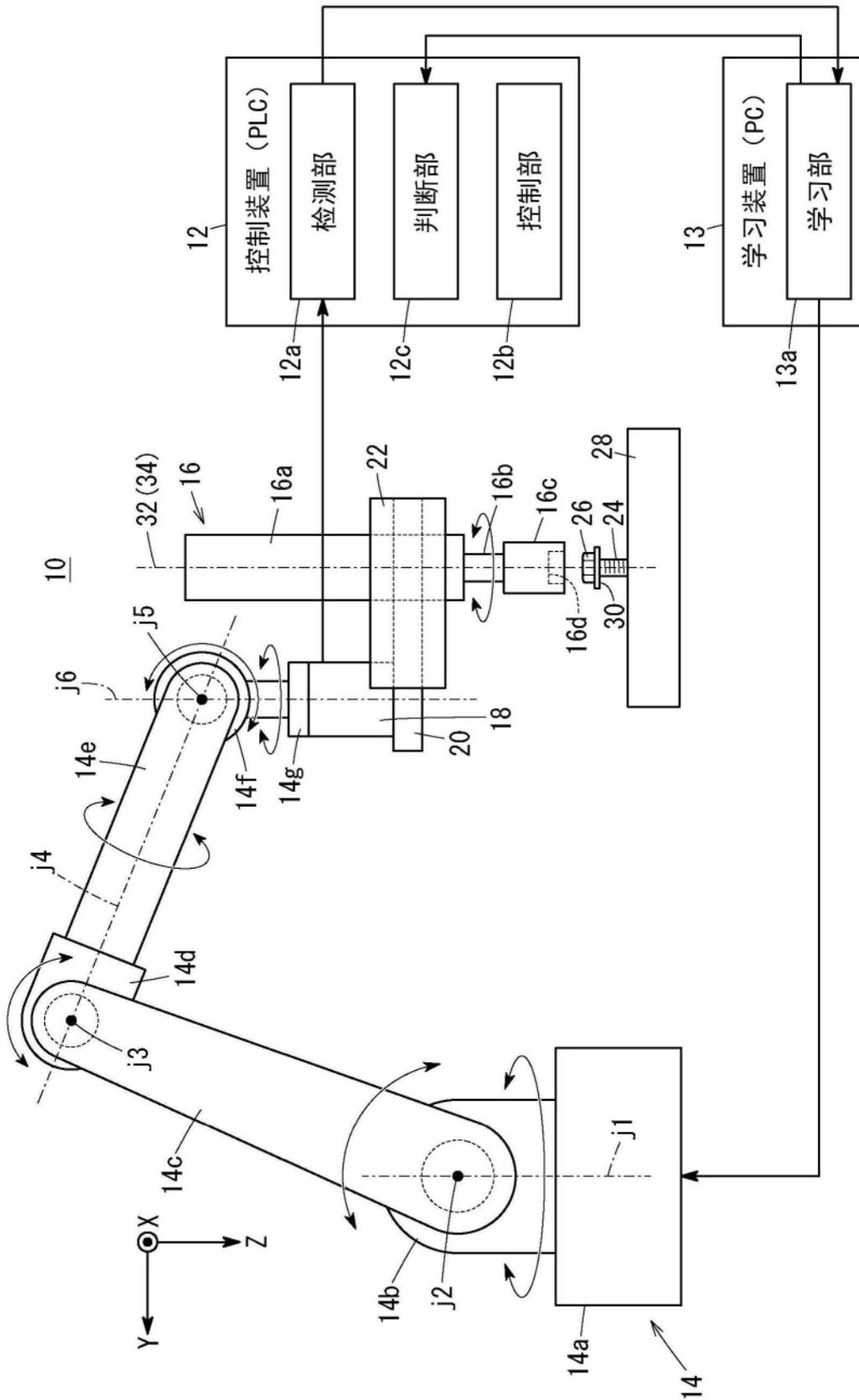


图1



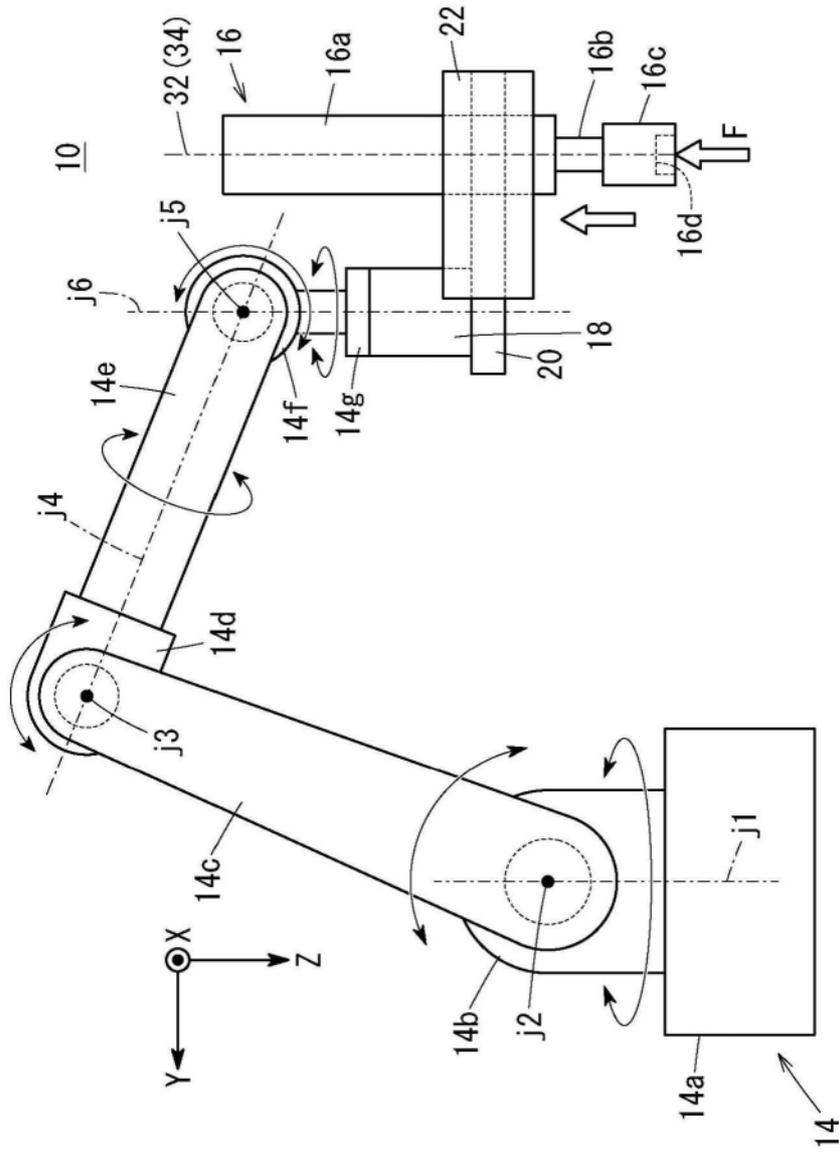


图3

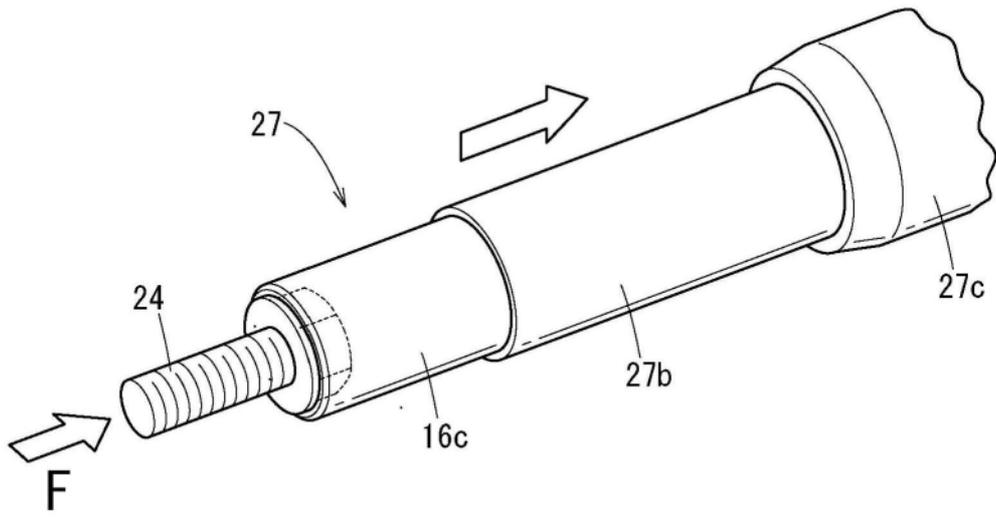


图4

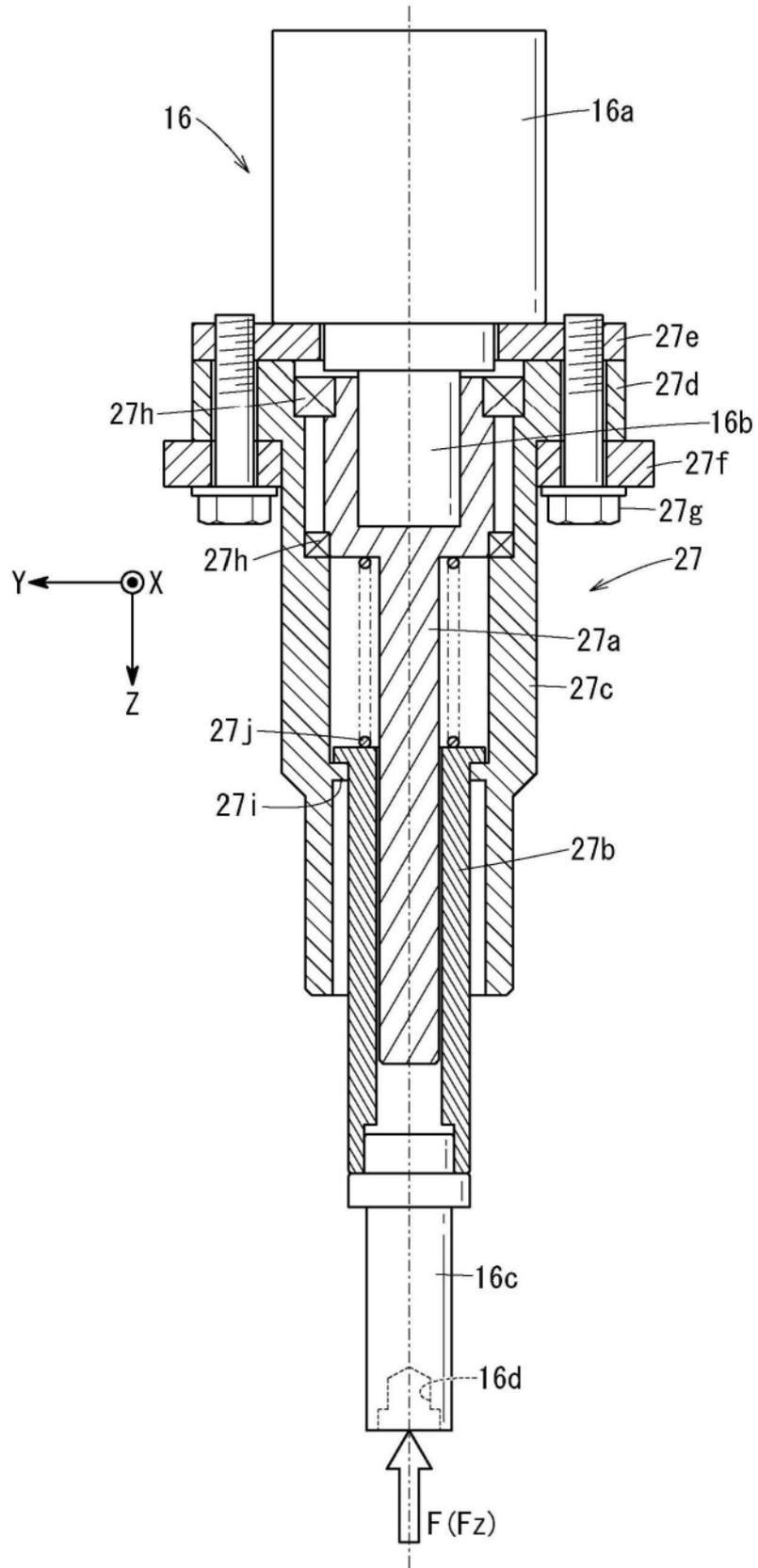


图5

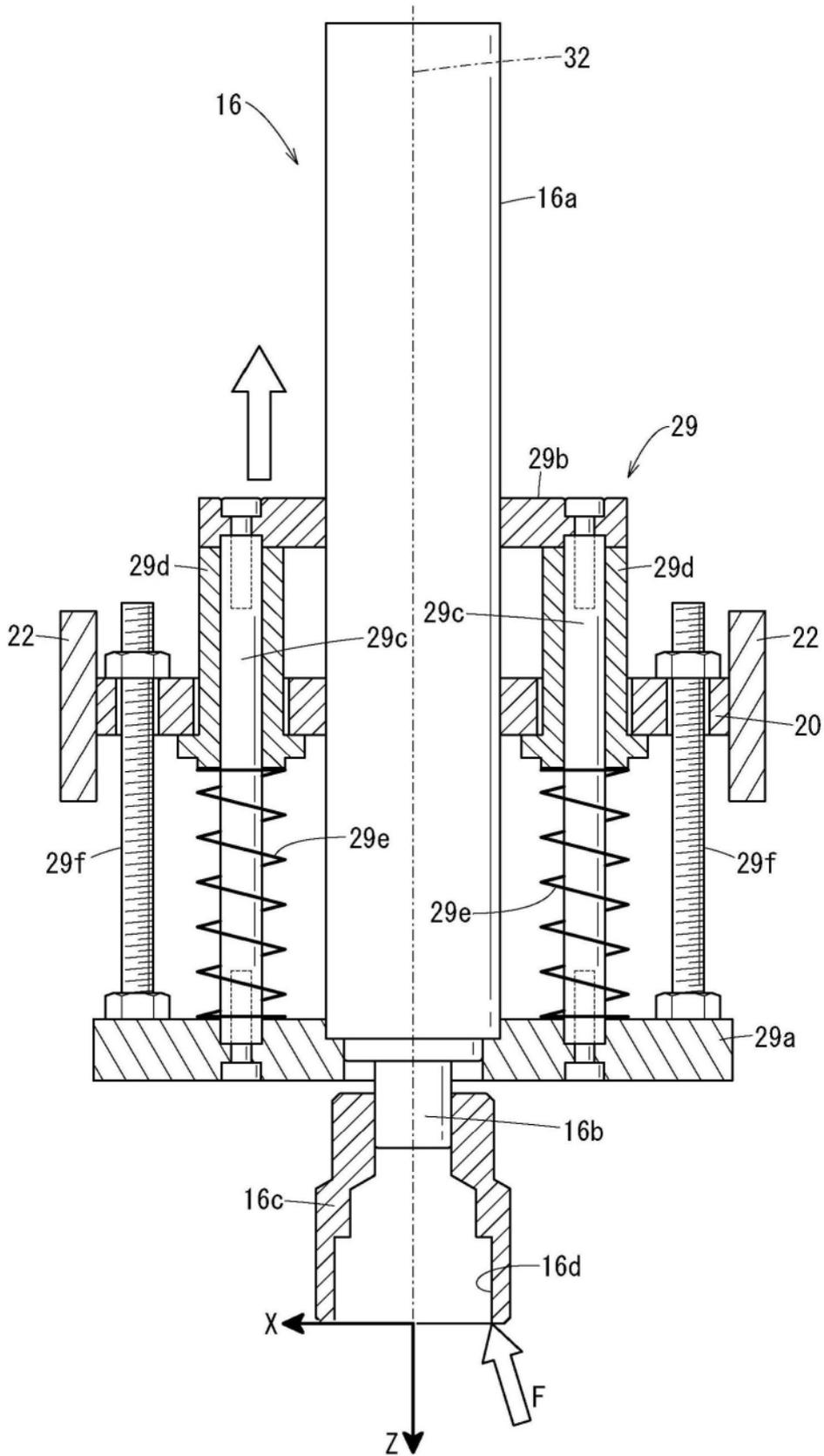


图6



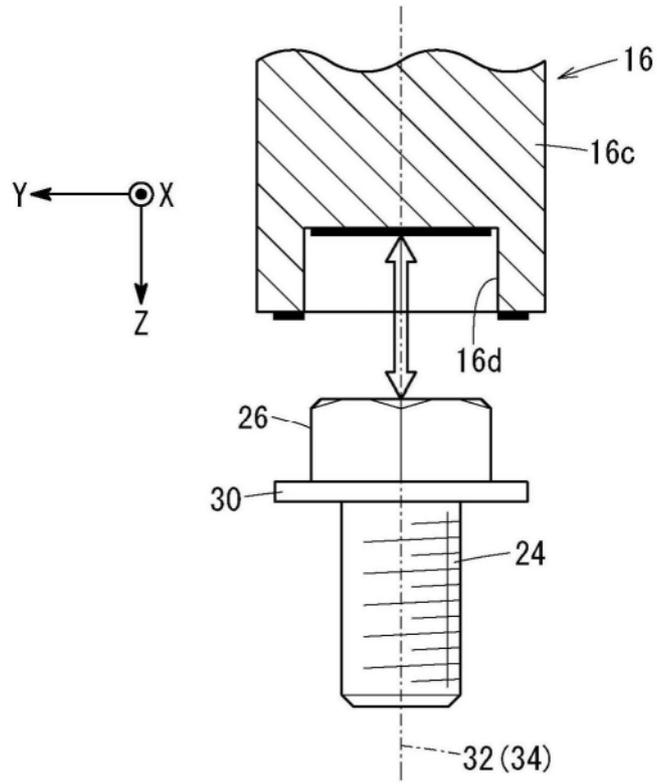


图8A

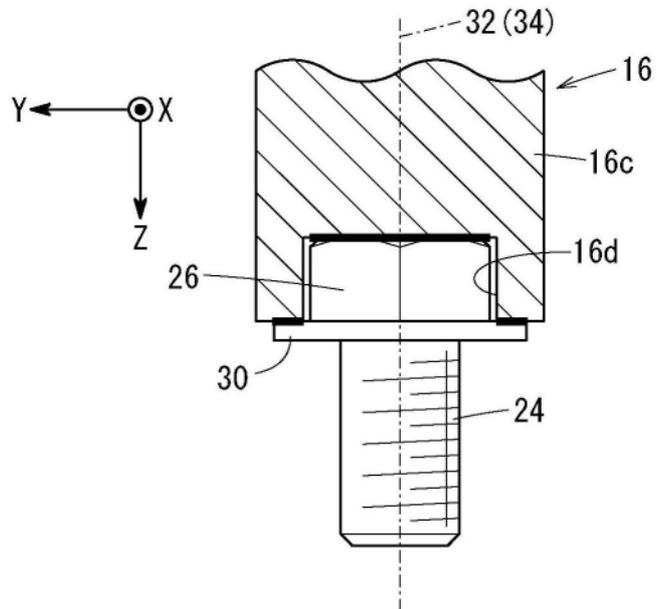


图8B

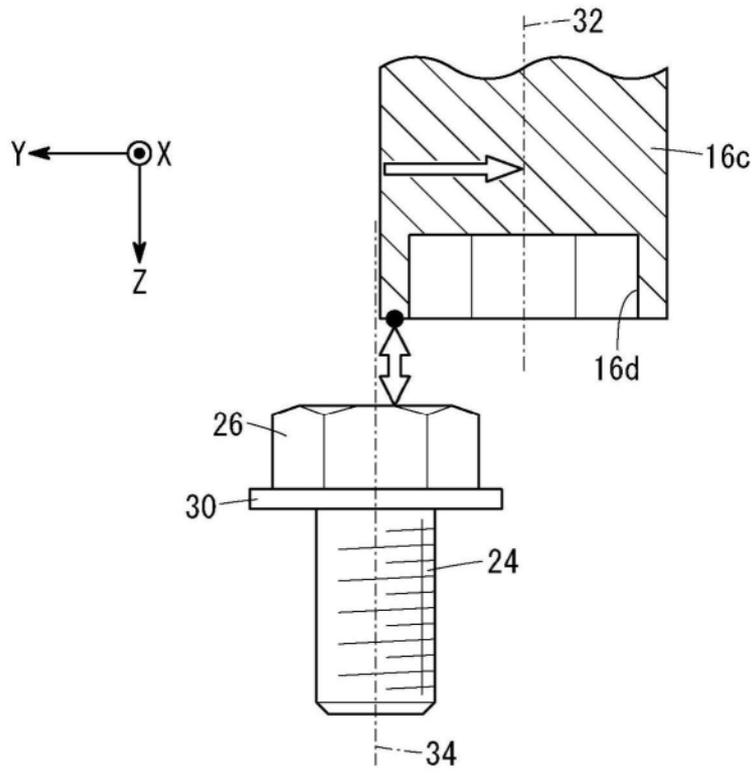


图9A

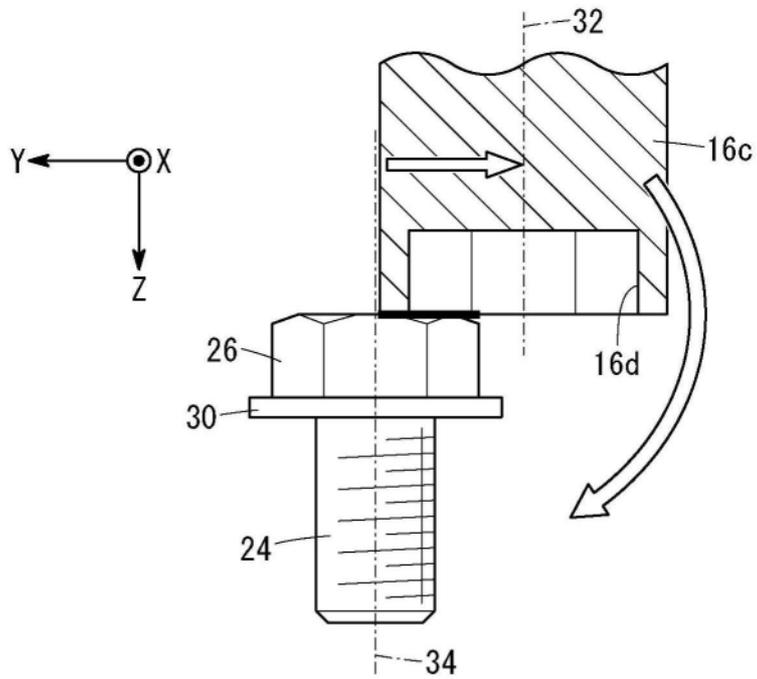


图9B

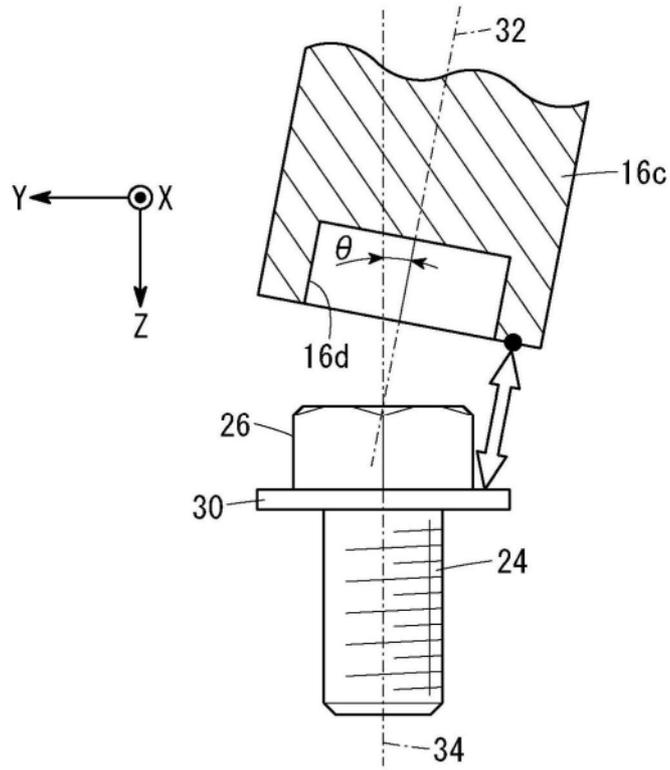


图10A

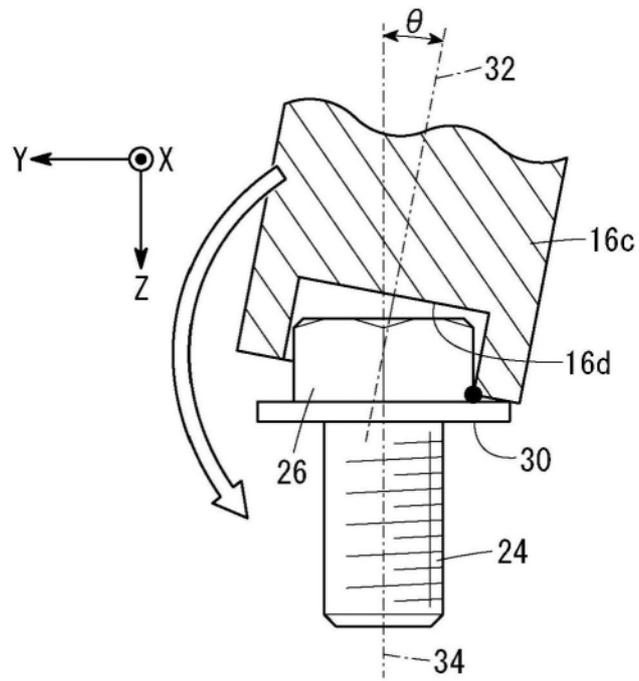


图10B

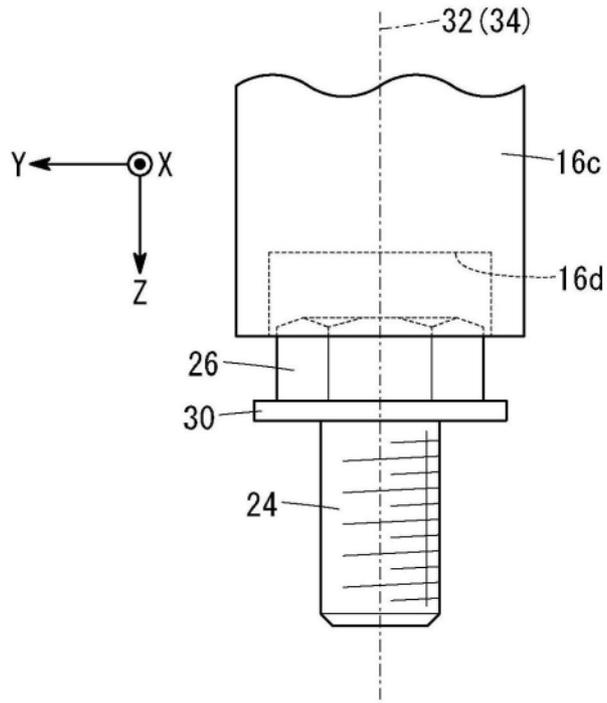


图11A

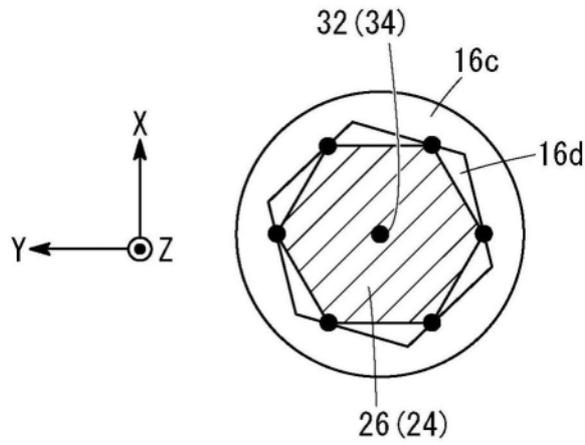


图11B

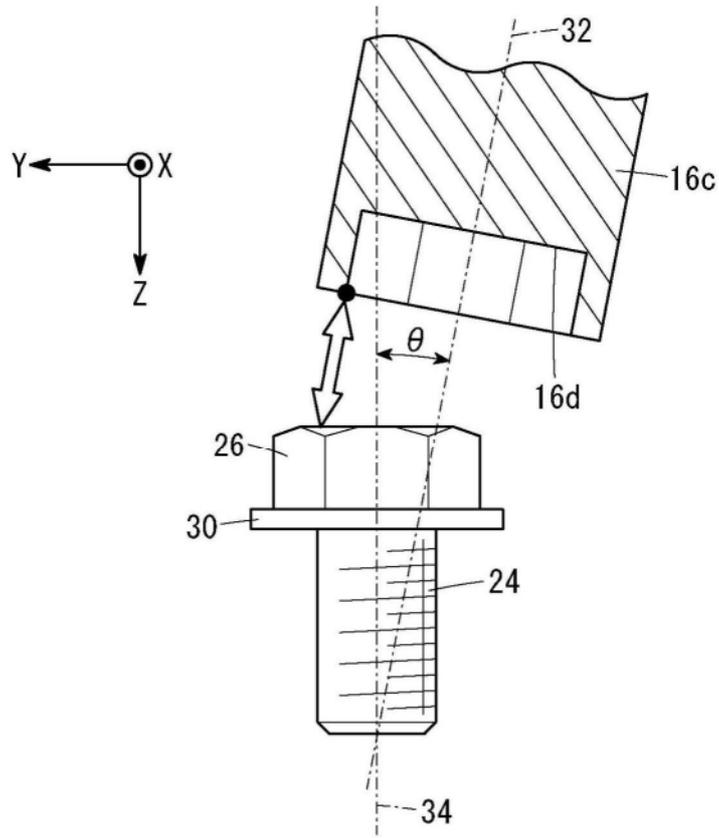


图12A

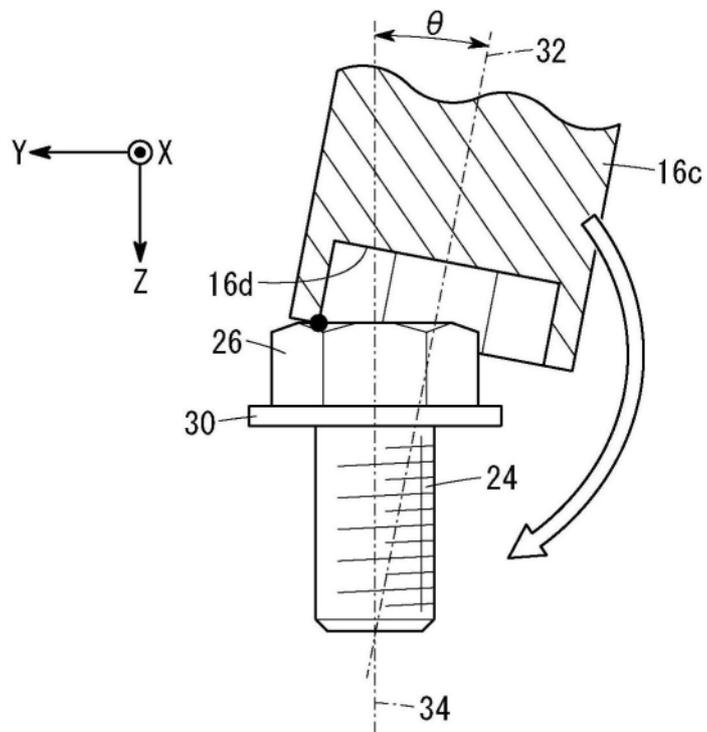


图12B

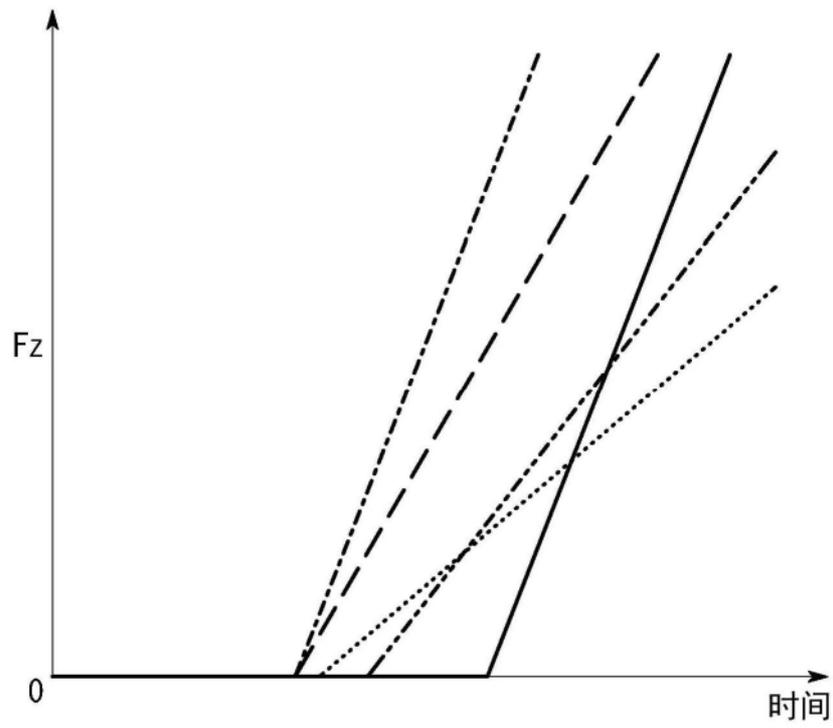


图13

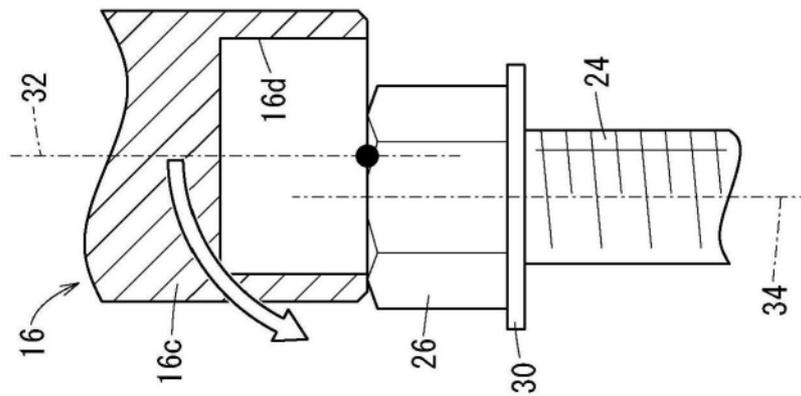


图14A

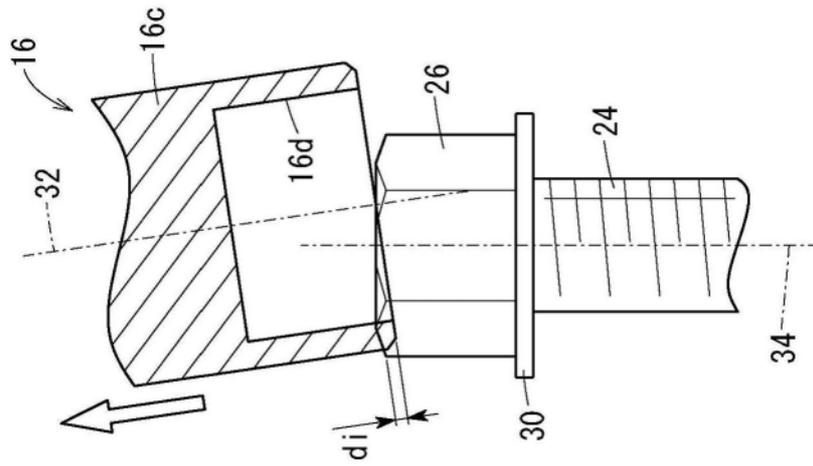


图14B

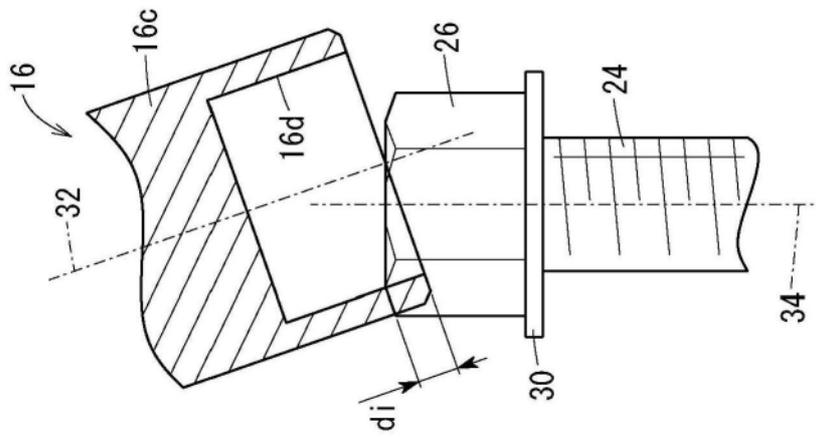


图14C

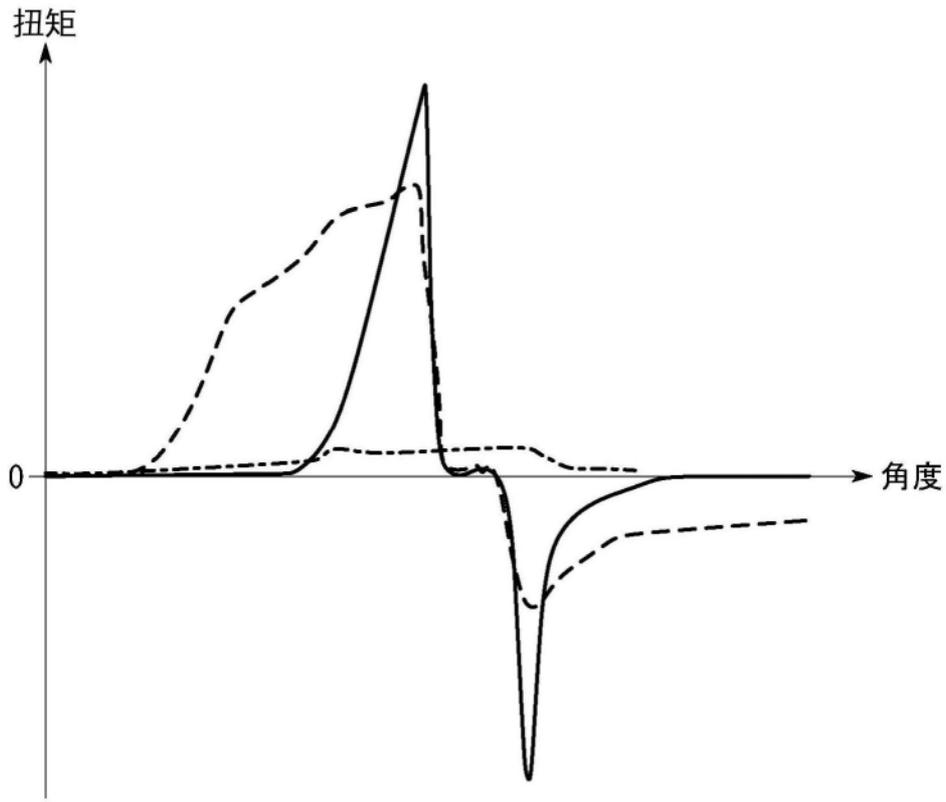


图15

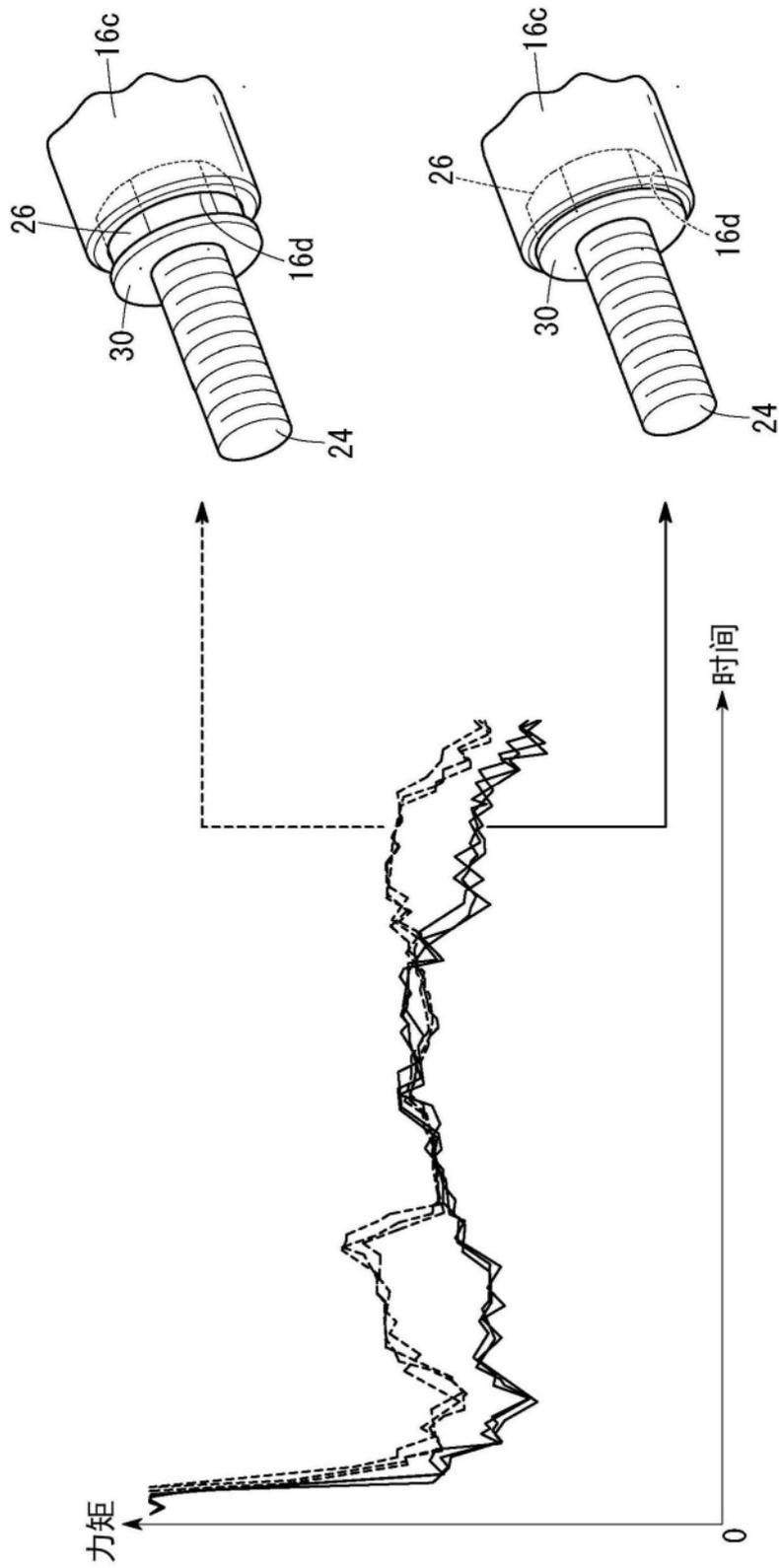


图16

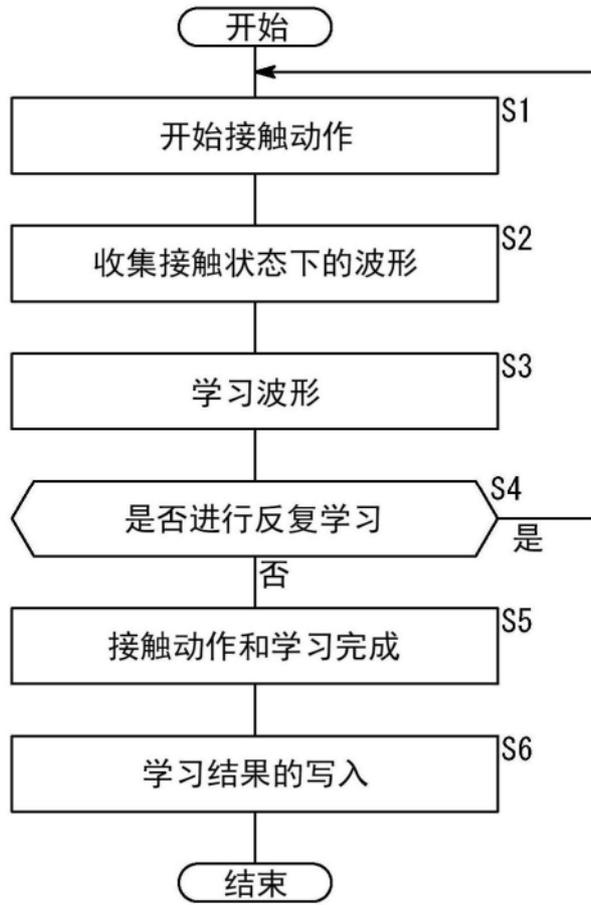


图17

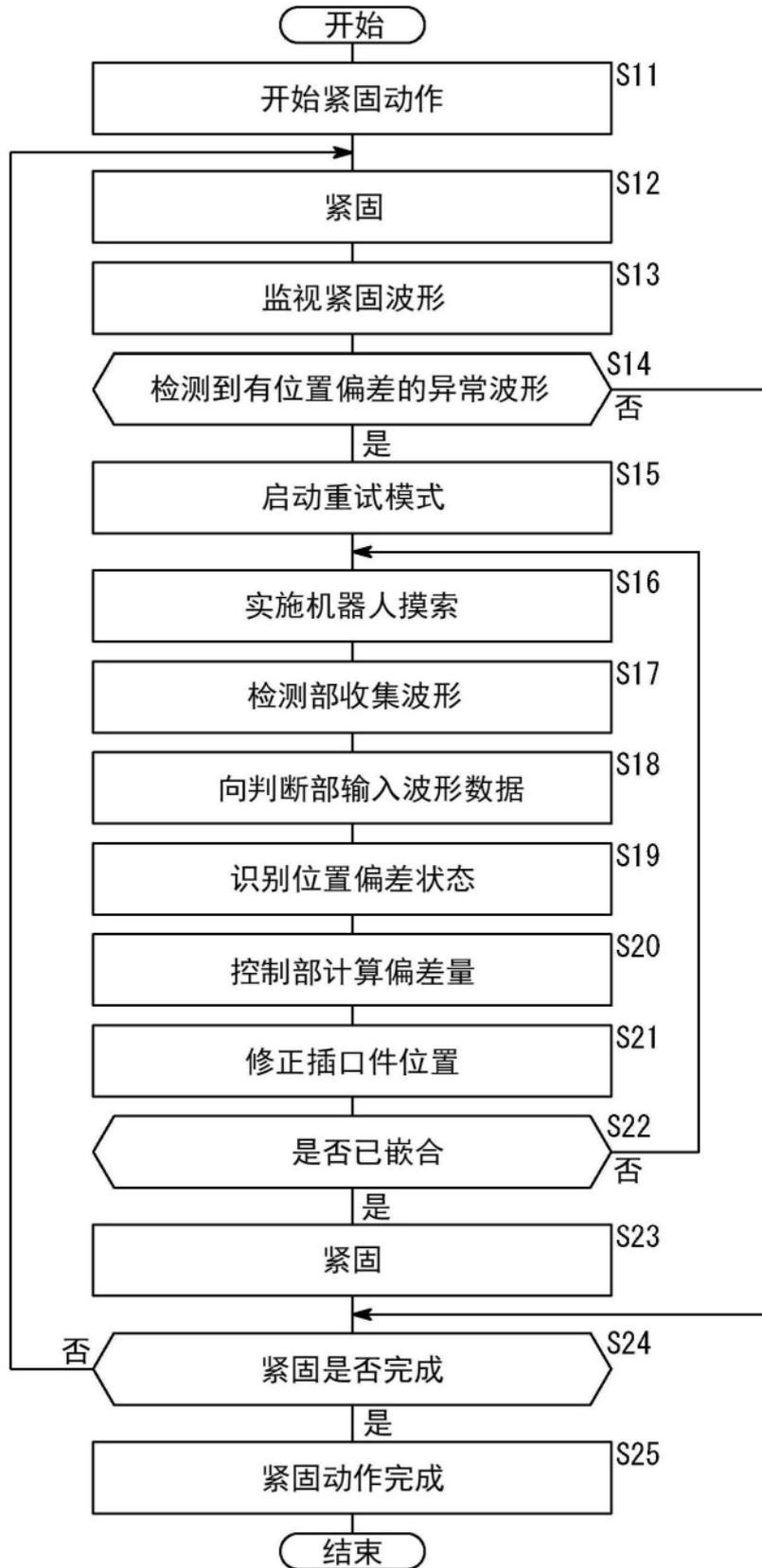


图18

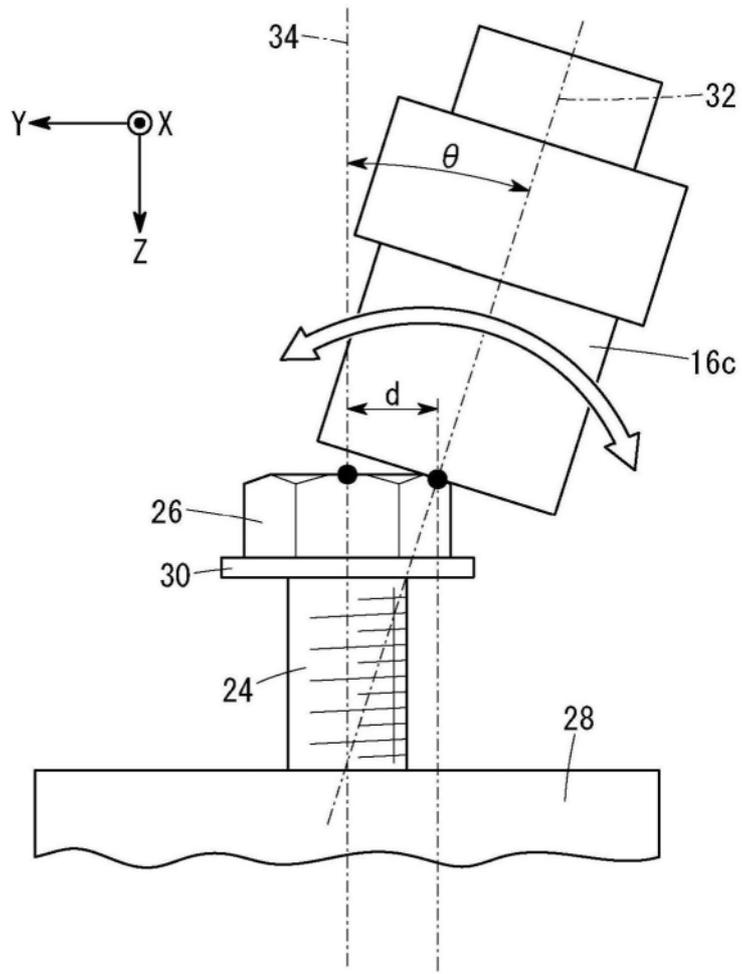


图19

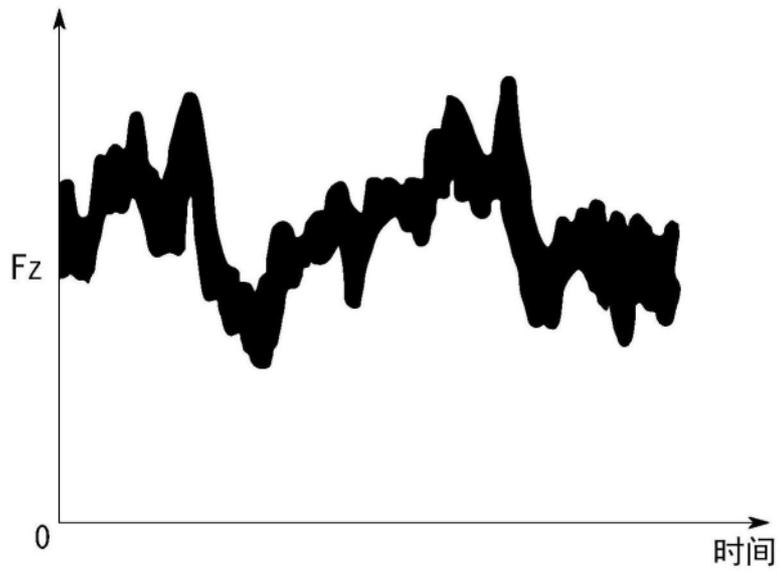


图20

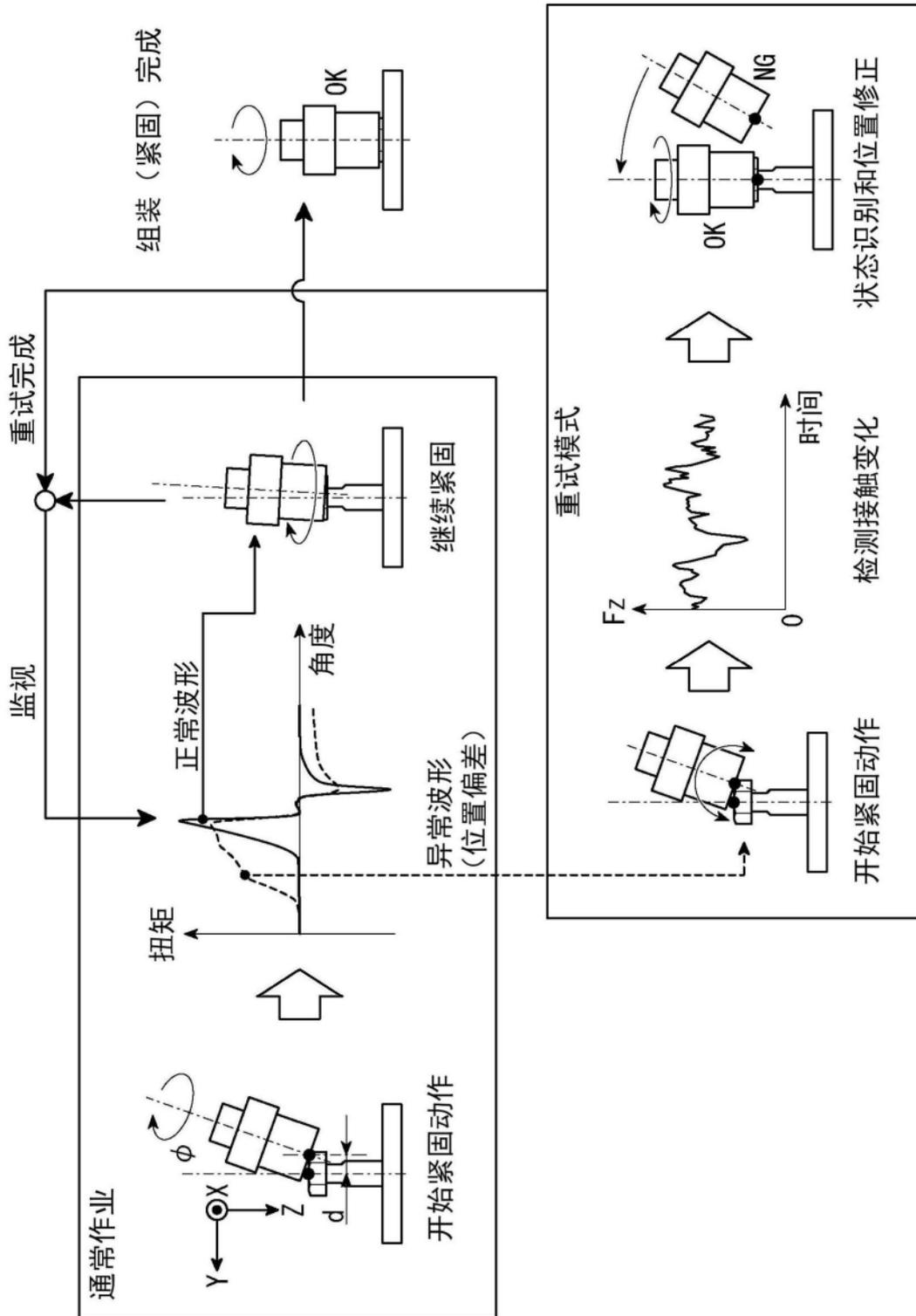


图21

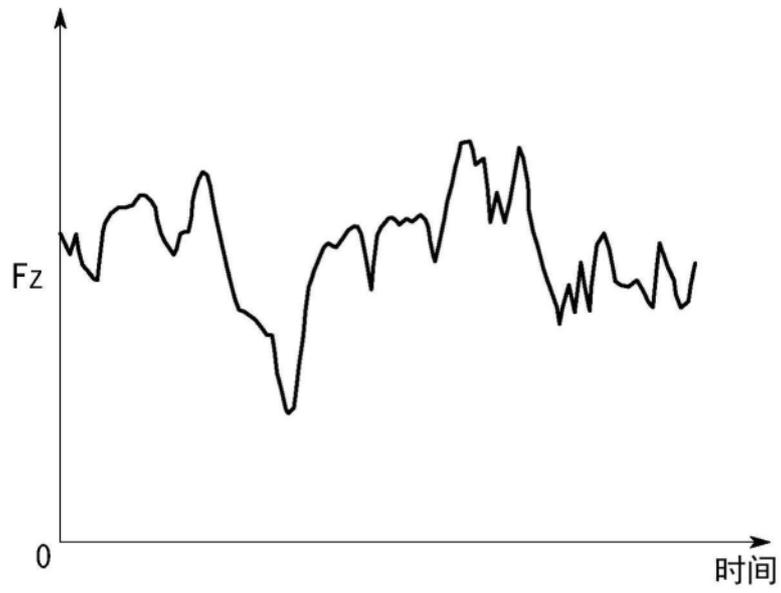


图22

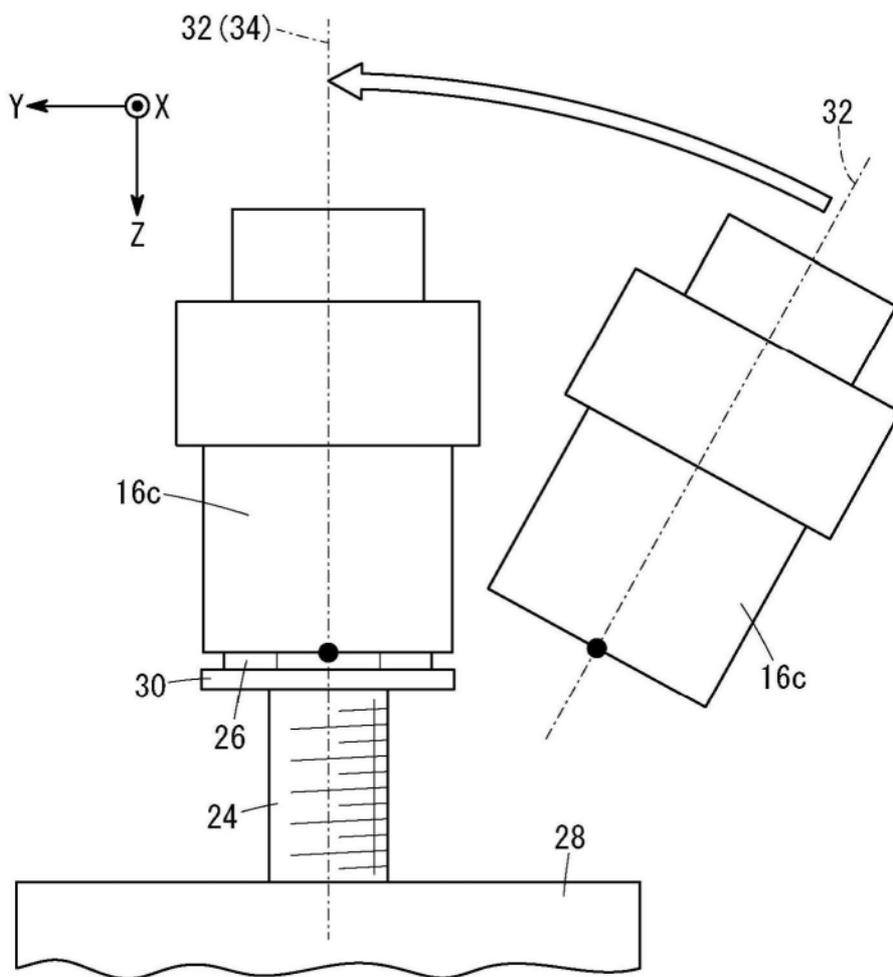


图23