



# (12)发明专利

(10)授权公告号 CN 107533019 B

(45)授权公告日 2020.05.05

(21)申请号 201680025228.3

(22)申请日 2016.10.24

(65)同一申请的已公布的文献号  
申请公布号 CN 107533019 A

(43)申请公布日 2018.01.02

(30)优先权数据  
2015-209253 2015.10.23 JP

(85)PCT国际申请进入国家阶段日  
2017.10.31

(86)PCT国际申请的申请数据  
PCT/JP2016/081483 2016.10.24

(87)PCT国际申请的公布数据  
W02017/069286 JA 2017.04.27

(73)专利权人 株式会社蛟簿  
地址 日本神奈川

(72)发明人 山河勉 山本修一郎 冈田雅弘

(74)专利代理机构 北京鸿元知识产权代理有限公司 11327

代理人 温剑 陈英俊

(51)Int.Cl.  
G01N 23/046(2018.01)  
A61B 6/03(2006.01)  
G01N 23/18(2018.01)

(56)对比文件  
JP 特開2006-101926 A, 2006.04.20, 具体实施例, 附图1-6.

US 2011/0235773 A1, 2011.09.29, 具体实施例, 附图8.

CN 101750621 A, 2010.06.23, 全文.

CN 104042227 A, 2014.09.17, 全文.

CN 103200873 A, 2013.07.10, 全文.

CN 103492906 A, 2014.01.01, 全文.

审查员 翁永超

权利要求书4页 说明书18页 附图18页

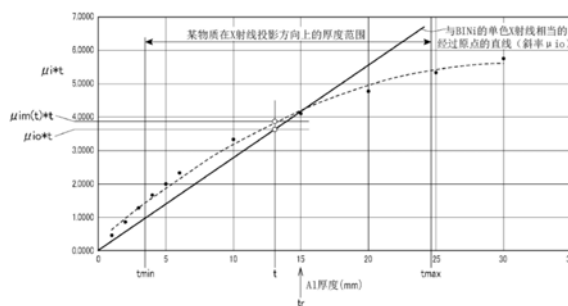
## (54)发明名称

X射线装置、数据处理装置及数据处理方法

## (57)摘要

本发明从由光子计数型检测器检测出的计数值中针对每个能量BIN排除或者减轻由于射束硬化等的物理现象对X射线减弱造成的影响。基于光子计数型检测器(24)的计数值,按照每个X射线的能量BIN取得X射线减弱量 $\mu t$ 的特性,所述X射线减弱量 $\mu t$ 的特性由物质在X射线透过方向上的多个相互不同的已知厚度 $t$ 与该线减弱系数 $\mu$ 定义。该物质构成摄像等的对象物,并且为与对象物相同的物质(同种物质)或者由有效原子序数可视作与对象物类似的原材料组成。计算修正用数据,所述修正用数据用于将该X射线减弱量 $\mu t$ 的特性置换成在以厚度 $t$ 为横轴、并且以X射线减弱量 $\mu t$ 为纵轴的二维坐标中经过其原点的直线状的目标特性。针对每个X射线能量BIN计算该修正用数据。

【与照射单色X射线相当的 $\mu t$ 的计算方法】



1. 一种数据处理装置(12),向对象物照射具有预先确定的连续X射线光谱的射束状X射线,对于透过该对象物的X射线的光子的数量,将对具有分别属于预先设定的一个以上的X射线能量BIN的X射线能量的该光子的数量按照每个X射线检测器的像素且按照每个该X射线能量BIN进行计数而得到的计数值进行处理,其特征在于,具备:

特性取得单元(51),基于所述计数值,按照每个所述X射线能量BIN取得X射线减弱量 $\mu t$ 的特性,所述X射线减弱量 $\mu t$ 的特性由与所述对象物相同的物质、或者由有效原子序数可视作与该对象物类似的原材料组成的物质在所述X射线的线束透过的方向上的多个相互不同的已知厚度 $t$ 和该线减弱系数 $\mu$ 定义;

修正用数据运算单元(52),按照每个所述X射线能量BIN且按照每个所述像素或者每个由两个以上的该像素组成的像素区域计算修正用数据,所述修正用数据用于将由所述特性取得单元取得的X射线减弱量 $\mu t$ 的特性置换成在以所述厚度 $t$ 为一个轴、并且以所述X射线减弱量 $\mu t$ 为与该一个轴正交的另一个轴的二维坐标中基于与代表各所述X射线能量BIN的单色X射线相当的X射线能量确定的、经过该坐标的原点的直线状的目标特性;以及

修正单元(53),基于所述修正用数据,按照每个所述X射线能量BIN并且按照每个所述像素或者每个所述像素区域,对所述计数值进行修正,

所述原材料为具有所述对象物的有效原子序数 $\pm 5$ 的范围内的有效原子序数的原材料。

2. 根据权利要求1所述的数据处理装置,其特征在于,

所述修正用数据运算单元具有:

近似单元(S3(S31)),通过所述厚度 $t$ 的函数对由所述特性取得单元取得的所述X射线减弱量 $\mu t$ 的特性进行近似;以及

修正系数运算单元(S3(S32)),作为所述修正用数据计算修正系数,所述修正系数用于将通过所述函数近似出的X射线减弱量 $\mu t$ 的特性置换成与具有代表各所述X射线能量BIN的X射线能量的单色X射线相当的、所述X射线减弱量 $\mu t$ 的所述直线状的目标特性。

3. 根据权利要求2所述的数据处理装置,其特征在于,

所述近似单元构成为,将由所述厚度 $t$ 构成的所述一个轴分割为多个区间,在该多个区间分别通过该厚度 $t$ 的函数对所述X射线减弱量 $\mu t$ 的特性进行近似,

所述修正系数运算单元构成为,在所述多个区间分别计算所述修正系数。

4. 根据权利要求3所述的数据处理装置,其特征在于,

所述近似单元构成为,在由所述厚度 $t$ 构成的所述一个轴上,对于规定数量的多个点处的所述X射线减弱量 $\mu t$ 的特性,一边使该规定数量的多个点的位置移动,一边通过该厚度 $t$ 的函数依次进行近似,

所述修正系数运算单元构成为,在由所述近似单元做成的所述规定数量的多个点的位置的分组中分别计算所述修正系数。

5. 根据权利要求4所述的数据处理装置,其特征在于,

所述修正系数运算单元构成为,每次设定所述多个点的位置时,计算相对于如下的范围的所述修正系数:即,该范围是该多个点的位置中的局部位置构成的所述厚度 $t$ 的范围,且是与之之前设定时的该局部位置构成的所述厚度 $t$ 的范围连续的该厚度 $t$ 的范围。

6. 根据权利要求3所述的数据处理装置,其特征在于,

所述多个区间中,越是所述厚度 $t$ 薄的区间,厚度 $t$ 的刻度设定得越细。

7. 根据权利要求3所述的数据处理装置,其特征在于,  
所述多个区间中所述厚度 $t$ 最薄的区间以所述二维坐标的原点为起点。

8. 根据权利要求3所述的数据处理装置,其特征在于,  
所述厚度 $t$ 的函数为所述厚度 $t$ 的二次函数。

9. 根据权利要求1至8中任一项所述的数据处理装置,其特征在于,  
所述X射线能量BIN的数量为两个、三个或四个以上。

10. 根据权利要求9所述的数据处理装置,其特征在于,

所述修正用数据运算单元具备目标特性设定单元(S3),所述目标特性设定单元将连接该对象物的代表性厚度 $t_r$ 与相当于该代表性厚度 $t_r$ 的所述X射线减弱量 $\mu_{tr}$ 之间的交点和所述原点的直线设定为所述直线状的目标特性,该对象物的代表性厚度 $t_r$ 是根据与所述对象物同种的所述物质或者与所述对象物近似的所述物质的所述多个相互不同的厚度设定的。

11. 根据权利要求9所述的数据处理装置,其特征在于,

所述修正用数据运算单元具备目标特性设定单元(S3),所述目标特性设定单元将如下的直线设定为所述直线状的目标特性:即,该直线以根据所述X射线能量Bin各自的有效能量或者固定能量的理论值计算出的线减弱系数为斜率,并且经过所述原点。

12. 根据权利要求9所述的数据处理装置,其特征在于,具备:

对象物信息运算单元,使用由所述修正单元修正后的数据,按照每个像素计算与所述对象物的所述X射线减弱有关的矢量信息;以及

提示单元(S12),提示所述矢量信息;

所述对象物信息运算单元构成为,在对 $n$ 个所述X射线能量BIN的虚拟平均线减弱系数 $\mu_i$ 、在X射线投影方向上观察时的所述对象物的厚度 $t$ 、以及由虚拟平均线减弱系数 $\mu_i$ 和厚度 $t$ 定义的 $n$ 维矢量 $(\mu_1 t, \mu_2 t, \dots, \mu_n t)$ 进行了定义时,作为所述矢量信息计算该 $n$ 维矢量的通过以下计算导出的标准化的线减弱矢量:

$$(\mu_1, \mu_2, \dots, \mu_n) / (\mu_1^2 + \mu_2^2 + \dots + \mu_n^2)^{1/2},$$

其中 $n$ 为2以上的正整数, $i = 1, 2, \dots, n$ 。

13. 根据权利要求9所述的数据处理装置,其特征在于,具备:

对象物信息运算单元,使用由所述修正单元修正后的数据,按照每个像素计算与所述对象物的所述X射线减弱有关的吸收矢量长;以及

提示单元(S12),提示所述吸收矢量长;

所述对象物信息运算单元构成为,在对 $n$ 个所述X射线能量BIN的虚拟平均线减弱系数 $\mu_i$ 、在X射线投影方向上观察时的所述对象物的厚度 $t$ 、以及由虚拟平均线减弱系数 $\mu_i$ 和厚度 $t$ 定义的 $n$ 维矢量 $(\mu_1 t, \mu_2 t, \dots, \mu_n t)$ 进行了定义时,作为所述吸收矢量长计算矢量长度 $t \times (\mu_1^2 + \mu_2^2 + \dots + \mu_n^2)^{1/2}$ ,

其中 $n$ 为2以上的正整数, $i = 1, 2, \dots, n$ 。

14. 根据权利要求12所述的数据处理装置,其特征在于,

具备处理单元(S11),所述处理单元基于由所述修正单元修正后的所述计数值,进行用于所述对象物的所述检查的数据处理,

所述处理单元构成为,使用由所述修正单元修正后的数据计算吸收矢量长图像,所述吸收矢量长图像对每个像素具有与所述对象物的所述X射线减弱有关的矢量信息以及吸收矢量长,

所述提示单元构成为,提示所述矢量信息以及吸收矢量长,

所述对象物信息运算单元构成为,在对n个所述X射线能量BIN的虚拟平均线减弱系数 $\mu_i$ 、在X射线投影方向上观察时的所述对象物的厚度t、以及由虚拟平均线减弱系数 $\mu_i$ 和厚度t定义的n维矢量 $(\mu_1 t, \mu_2 t, \dots, \mu_n t)$ 进行了定义时,作为所述矢量信息计算该n维矢量的线减弱矢量 $(\mu_1, \mu_2, \dots, \mu_n) / (\mu_1^2 + \mu_2^2 + \dots + \mu_n^2)^{1/2}$ ,作为矢量长度 $t \times (\mu_1^2 + \mu_2^2 + \dots + \mu_n^2)^{1/2}$ 计算所述吸收矢量长,

其中n为2以上的正整数, $i = 1, 2, \dots, n$ 。

15. 根据权利要求9所述的数据处理装置,其特征在于,

具备处理单元(S11),所述处理单元基于由所述修正单元修正后的所述计数值,进行用于所述对象物的所述检查的数据处理,

所述处理单元构成为确定以下项目中的至少任意一个:i) 构成所述对象物或者该对象物的一部分的物质的种类或者性质;ii) 有可能附着在该对象物的外部或者混入该对象物的内部的异物的存在;iii) 该异物的种类或者性质;iv) 构成所述对象物或该对象物的一部分的物质、或者有可能混入该对象物的内部的异物的重量;v) 构成所述对象物或该对象物的一部分的物质、或者有可能混入该对象物的内部的异物的厚度。

16. 根据权利要求9所述的数据处理装置,其特征在于,

具备模型,所述模型是使用与所述对象物同种的物质或者由可视作所述X射线的减弱系数与所述对象物近似的原材料组成的物质制作的,并且是以计测时在所述X射线的透过方向上呈现出多个所述已知厚度的方式制作的,

所述特性取得单元构成为,在将所述模型配置于检查时设置所述对象物的位置的状态下,取得通过所述X射线进行所述照射时所述检测器输出的所述计数值,并基于该所述计数值,计算所述模型在所述X射线的线束透过的方向上的所述X射线减弱量 $\mu t$ 的特性,

所述修正用数据运算单元具有参照数据保存单元(33B),根据由事先计算单元计算出的X射线减弱量 $\mu t$ 的特性,计算用于将所述X射线减弱量 $\mu t$ 的特性修正为所述直线状的目标特性的修正用数据,并事先保存为参照用数据,

所述修正单元构成为,在所述对象物的实际检查时,参照保存在所述参照数据保存单元中的所述修正用数据,对该检查时的所述计数值进行修正。

17. 根据权利要求1至8中任一项所述的数据处理装置,其特征在于,

所述物质为在所述线减弱系数方面模仿了所述对象物的模型,

所述原材料为具有所述对象物的有效原子序数 $\pm 2$ 的范围内的有效原子序数的原材料。

18. 一种X射线装置,其特征在于,具备:

X射线产生装置,照射X射线;

光子计数型的检测器,作为所述X射线检测器对从所述X射线产生装置照射并且透过所述物质的所述X射线进行检测,按照预先设定的一个以上的X射线能量BIN中的每个X射线能量BIN对该X射线的光子的数量进行计数,并输出该计数值作为所述计数值;以及

权利要求1至8中任一项所述的数据处理装置。

19. 一种数据处理方法,由X射线装置执行,所述X射线装置从X射线管向对象物照射具有预先确定的连续X射线光谱的射束状X射线,对透过该对象物的X射线进行检测,将具有分别属于预先设定的一个以上的X射线能量BIN的X射线能量的光子的数量按照每个X射线检测器的像素且按照每个该X射线能量BIN进行计数,并作为该计数值输出,其特征在于,

基于所述计数值,按照每个所述X射线能量BIN取得X射线减弱量 $\mu t$ 的特性,所述X射线减弱量 $\mu t$ 的特性通过与所述对象物相同的物质、或者由有效原子序数可视作与该对象物类似的原材料组成的物质在所述X射线的线束透过的方向上的多个相互不同的已知厚度 $t$ 与该线减弱系数 $\mu$ 定义,

按照每个所述X射线能量BIN且按照每个所述像素或者每个由两个以上的该像素组成的像素区域计算修正用数据,所述修正用数据用于将所述取得的X射线减弱量 $\mu t$ 的特性按照每个所述X射线能量BIN替换成在以所述厚度 $t$ 为一个轴、并且以所述X射线减弱量 $\mu t$ 为与该一个轴正交的另一个轴的二维坐标中基于与代表各所述X射线能量BIN的单色X射线相当的X射线能量确定的、经过该坐标的原点的直线状的目标特性,

基于所述修正用数据,按照每个所述X射线能量BIN并且按照每个所述像素或者每个所述像素区域,对所述计数值进行修正,

所述原材料为具有所述对象物的有效原子序数 $\pm 5$ 的范围内的有效原子序数的原材料。

20. 根据权利要求19所述的数据处理方法,其特征在于,

所述物质为在所述线减弱系数方面模仿了所述对象物的模型,

所述原材料为具有所述对象物的有效原子序数 $\pm 2$ 的范围内的有效原子序数的原材料。

## X射线装置、数据处理装置及数据处理方法

### 技术领域

[0001] 本发明涉及一种X射线装置及可搭载于该X射线装置的数据处理装置,该X射线装置利用X射线扫描对象物并收集X射线透过数据,基于该收集数据把握对象物的状态,本发明尤其涉及使用了具有连续光谱的X射线的X射线装置及可搭载于该X射线装置的数据处理装置。

### 背景技术

[0002] 近年来,以食品的异物检查、随身行李检查等为首,直至医疗用的X射线乳房摄影(Mammography),使用X射线来查验对象物的内部状态的检查被广泛地应用于各处。

[0003] 例如,存在所谓的内容物检查,即在机场和公共设施等处检查内容物的种类和/或形状,而不打开提包和邮寄物品。另外,在上述的内容物检查中,在预先已知的对象物(例如面包等食品)中混入有异物(例如金属片)的情况下,还存在着发现并确定该异物的存在及其种类这样的检查要求。也就是说,想要通过X射线来确定对象物(物质)的种类和/或其形状本身这样的需求也潜在性地较高。

[0004] 对于该需求,提出了例如专利文献1(日本特开2010-091483:发明名称为“异物检测方法及其装置”)中记载的方法。该专利文献1以所谓的被称为双能量法(或者减除法)的检查法为基础。该检查法利用了两种能量的X射线(即、波长相互不同的两种X射线)透过物质时其X射线透过信息存在差异的现象。具体而言,以如下的处理为基本处理。首先,同时制作低能量和高能量两种X射线图像,并取得这些图像彼此的差分。进一步,从该差分图像中提取混入异物的成分图像,对该成分图像进行阈值处理以检测异物。

[0005] 此外,根据该专利公报1,除上述基本处理以外,还旨在通过自动设定差分运算中的最佳参数来进行高灵敏度的异物检测。进一步,在该专利文献1中给出了如下启示:还能够使用可在辨别X射线的光子(photon)的能量的状态下检测X射线的光子的入射的检测器。也就是说,还给出了如下启示:作为可同时获得低能量与高能量两种X射线的手段,利用以往已知的光子计数型(photon counting型)的X射线照射/检测系统。

[0006] 另一方面,作为基于双能量法的检查法,还已知非专利文献1中记载的检测法。根据该非专利文献1,在上述双能量法的基本结构的基础上,进一步提供如下的系统:即使检查对象物在传送带上发生重叠时,也不会混淆该重叠与异物,能够以更高的灵敏度检测异物。

[0007] 根据上述专利文献1以及非专利文献1中记载的双能量法,能够在一定程度上提高对对象物或者混入对象物中的异物的检测灵敏度。“一定程度”是指,提高将摄影条件和/或图像处理条件限定为特定条件时的检测灵敏度。因此,由于将在该条件下实施,因此能够应用该方法的摄影对象或者摄影条件有限,可检测出异物的条件狭窄。

[0008] 也就是说,在这些文献中记载的双能量法的情况下,存在着以下不可忽视的问题,即、相对于因X射线的光子能量和物质引起的减弱程度差异的精度低,没有考虑到X射线检测电路的电气噪声和非线性特性。因此,几乎难以得知异物的种类和性质。也就是说,难以

确定X射线所透过的物质本身的种类和性质。

[0009] 专利文献2提出了要消除这种不良情况的技术方案。该技术方案提供如下的方法：使用从采用分层摄影法(Laminography)的断层装置等获得的图像，高精度且简便地确定对象物中含有的物质的种类。具体而言是如下的方法：使用将X射线的能量辨别为多个能量区域并进行光子计数得到的计数值、以及由该计数值重建的被检测体图像，确定位于被检测体中的关注部位的物质。根据该方法，基于对厚度以及密度均匀的物质进行摄像得到的计数值，制作参照图像，针对每个像素将被检测体图像的像素值除以该参照图像的像素值，从而将该被检测体图像的像素值标准化。根据该标准化的像素值制作分布图，在所述分布图中，以赋予吸收信息的轴为二维的一个轴，并且对该二维的另一个轴赋予X射线的射束硬化信息。从该分布图中取得用于确定位于被检测体的摄像部分的物质的种类的信息。

[0010] 在先技术文献

[0011] 专利文献

[0012] 专利文献1：日本特开2010-091483

[0013] 专利文献2：日本特开2013-119000号

[0014] 非专利文献

[0015] 非专利文献1：安立技术(アンリツテクニカル)No.87,Mar.2012,《双能量方式X射线异物检测机的开发》

## 发明内容

[0016] 发明所要解决的技术问题

[0017] 然而，在该专利文献2记载的物质确定法的情况下，必须求出分布图。使用分布图，对于在视觉上用何种信息掌握是否混入了物质来说较好。但是，由于针对能量BIN的信息利用原图像的除法求出射束硬化轴上的值，因此存在以下的问题：成为噪声增加的原因、由于无法规定最小二乘法的经过点(经过坐标原点的条件等的经过点)因此近似误差较大而难以获得稳定的结果、以及在生成分布图时未使用收集到的全部数据等。

[0018] 另外，如例示出的那样，在将专利文献2记载的物质确定法应用于口腔部的情况下，X射线会透过如牙齿和颞部那样的硬组织。在这种情况下，由于射束硬化的影响，各X射线能量BIN的有效能量根据对象物的厚度有所不同。尤其是，越是低能量侧的X射线能量BIN，其根据厚度产生的变动越明显。因此，专利文献2记载的物质确定法至少在可准确取得厚度信息的情况下能够发挥有效性，但是在厚度不明确的情况下，无法忽略射束硬化等的影响，确定精度较低。

[0019] 因此，本发明的目的在于提供一种X射线装置以及可在该X射线装置中优选实施的数据处理装置和数据处理方法，其结果是推测物质的确定和性质，或者高精度地进行异物检测和病变检测、重量推断、厚度推断等，该X射线装置能够取得从光子计数型的检测器检测的计数值中针对每个X射线能量BIN排除或者减轻了由于射束硬化等的物理现象对X射线减弱造成的影响的信号，能够进一步提高使用该信号进行的各种处理的精度以及可靠性。

[0020] 用于解决技术问题的方案

[0021] 为了达成上述目的，根据本发明的一个实施方式，提供一种X射线装置，其向对象物照射具有预先确定的连续X射线光谱的射束状X射线，基于透过该对象物的X射线检测该

对象物。该X射线装置具备：光子计数型的检测器(26(24))，对透过与所述对象物相同的物质、或者由有效原子序数可视作与该对象物类似的原材料组成的物质的所述X射线进行检测，按照预先设定的一个以上的X射线能量BIN中的每个X射线能量BIN对该X射线的光子数进行计数，并输出该计数值；特性取得单元(51(S2))，基于所述检测器输出的所述计数值，按照每个所述X射线能量BIN取得X射线减弱量 $\mu t$ 的特性，所述X射线减弱量 $\mu t$ 的特性由所述物质在所述X射线的线束透过的方向上的多个相互不同的已知厚度 $t$ 与该线减弱系数 $\mu$ 定义；以及修正用数据运算单元(52(S3))，按照每个所述X射线能量BIN计算修正用数据，所述修正用数据用于将由所述特性取得单元取得的X射线减弱量 $\mu t$ 的特性替换成在以所述厚度 $t$ 为一个轴、并且以所述X射线减弱量 $\mu t$ 为与该一个轴正交的另一个轴的二维坐标中经过该坐标的原点的直线状的目标特性。

[0022] 在此，有效原子序数定义为，“对象物为由多个物质(原材料)构成的情况下的、该对象物的平均原子序数 $Z_{\text{eff}}$ ”。另外，“与对象物相同的物质”是指，具有与对象物相同的成分的物质(同种物质)。进一步，“有效原子序数可视作与对象物类似的原材料”是指，例如根据本发明人们的见解，“具有所述对象物的有效原子序数 $\pm 5$ 的范围内的有效原子序数的原材料”，进一步优选为“具有所述对象物的有效原子序数 $\pm 2$ 的范围内的有效原子序数的原材料”。尤其是，在想要更高精度地确定对象物内部的物质的种类和性质的情况下(例如在乳房摄影中想要高精度地求出乳腺含有率的情况等)，优选为有效原子序数 $\pm 2$ 的范围的原材料。作为典型例子，这些物质作为在成分上模仿了摄像对象的模型被提供。

[0023] 在上述结构中，作为一例，所述检测器也可以构成为，具备使所述X射线入射的多个像素，通过该多个像素分别对透过所述对象物的所述X射线进行检测，按照所述预先设定的一个以上的X射线能量BIN中的每个X射线能量BIN并且按照每个该像素对该X射线的光子数进行计数，并输出该计数值；所述特性取得单元也可以构成为，基于所述检测器输出的所述计数值，按照每个所述X射线能量BIN并且按照每个所述像素或者每个像素区域，取得所述X射线减弱量 $\mu t$ 的特性，所述像素区域由两个以上的该像素组成；所述修正用数据运算单元也可以构成为，使用所述修正用数据，按照每个所述X射线能量BIN并且按照每个所述像素或者每个所述像素区域计算由所述特性取得单元取得的X射线减弱量 $\mu t$ 的特性。

[0024] 进一步，还可以具备修正单元，所述修正单元基于所述修正用数据，按照每个所述X射线能量BIN并且按照每个所述像素或者每个所述像素区域，对所述计数值进行修正。

[0025] 进一步，还能够具备处理单元，所述处理单元基于由所述修正单元修正后的所述计数值进行用于所述对象物的所述检查的数据处理。

[0026] 另外，根据本发明的其他方式，提供一种搭载于X射线装置的数据处理装置，所述X射线装置从X射线管向对象物照射具有预先确定的连续X射线光谱的射束状X射线，对透过该对象物的X射线进行检测，按照预先设定的一个以上的X射线能量BIN中的每个X射线能量BIN对该X射线的光子数进行计数，并输出该计数值。该数据处理装置具备：特性取得单元，基于所述计数值，按照每个所述X射线能量BIN取得X射线减弱量 $\mu t$ 的特性，所述X射线减弱量 $\mu t$ 的特性通过与所述对象物相同的物质、或者由有效原子序数可视作与该对象物类似的原材料组成的物质在所述X射线的线束透过的方向上的多个相互不同的已知厚度 $t$ 与该线减弱系数 $\mu$ 定义；以及修正用数据运算单元，按照每个所述X射线能量BIN计算修正用数据，所述修正用数据用于将由所述特性取得单元取得的X射线减弱量 $\mu t$ 的特性替换成在以所述



厚度 $t$ 为横轴、并且以所述X射线减弱量 $\mu t$ 为纵轴的二维坐标中经过该坐标的原点的直线状的目标特性。

[0027] 进一步,根据本发明的其他方式,提供一种由X射线装置执行的数据处理方法,所述X射线装置从X射线管向对象物照射具有预先确定的连续X射线光谱的射束状X射线,对透过该对象物的X射线进行检测,按照预先设定的一个以上的X射线能量BIN中的每个X射线能量BIN对该X射线的光子数进行计数,并输出该计数值。该数据处理方法基于所述计数值,按照每个所述X射线能量BIN取得X射线减弱量 $\mu t$ 的特性,所述X射线减弱量 $\mu t$ 的特性通过与所述对象物相同的物质、或者由有效原子序数可视作与该对象物类似的原材料组成的物质在所述X射线的线束透过的方向上的多个相互不同的已知厚度 $t$ 与该线减弱系数 $\mu$ 定义;按照每个所述X射线能量BIN计算修正用数据,所述修正用数据用于将所述取得的X射线减弱量 $\mu t$ 的特性置换成在以所述厚度 $t$ 为横轴、并且以所述X射线减弱量 $\mu t$ 为纵轴的二维坐标中经过该坐标的原点的直线状的目标特性。

[0028] 此外,也可以按照每个X射线能量BIN并且按照每个像素或者每个像素区域进行上述特性取得以及修正用数据运算,所述像素区域由两个以上的像素组成。另外,对像素为一个的检测器(或者传感器)的检测信号、或者X射线光谱仪的检测信号也能够同样地进行该特性取得以及修正用数据数据运算。X射线能量BIN不仅能够用于在收集检测信号之前进行设定的情况,还能够用于可在收集后进行设定的情况。

[0029] 发明效果

[0030] 向对象物照射具有预先确定的连续X射线光谱的射束状X射线,对于该X射线的透过量,通过光子计数型的检测器,按照一个以上的X射线能量BIN中的每个X射线能量BIN,计数该X射线的光子数,并检测其计数值。基于该计数值,按照每个X射线能量BIN,在X射线检查时或者事先取得X射线减弱量 $\mu t$ 的特性,所述X射线减弱量 $\mu t$ 的特性由与对象物同种的物质在X射线透过方向上的多个相互不同的已知厚度 $t$ 和对象物的线减弱系数 $\mu$ 定义。此外,对于该X射线减弱量 $\mu t$ 的特性,也可以替代性地采用由线减弱系数可视作与待检查的对象物近似的原材料组成的物质。

[0031] 接下来,按照每个X射线能量BIN计算修正用数据,所述修正用数据用于将所取得的X射线减弱量 $\mu t$ 的特性置换成在以厚度 $t$ 为横轴、并且以X射线减弱量 $\mu t$ 为纵轴的二维坐标中经过该坐标的原点的直线状的目标特性。例如,基于计算出的修正用数据,按照每个X射线能量BIN对计数值进行修正。

[0032] 因此,当向对象物照射具有连续X射线光谱的X射线时,其输出、即相对于X射线能量的计数值的分布多少会受到射束硬化等的影响。但是,根据本发明,在这种情况下,也可计算出用于减轻或者除去每个X射线能量BIN中产生的平均(或者有效)X射线能量的变化和其波动成分的上述修正用数据。

[0033] 因此,通过使用该修正用数据对计测值进行修正,可减轻或者除去各X射线能量BIN的平均(或者有效)X射线能量的变化和其波动成分的影响。因此,等同于向对象物照射代表各X射线能量BIN的、例如具有平均(或者有效)X射线能量的单色X射线。

[0034] 这样,当通过光子计数型的检测器对透过对象物的X射线进行检测时,能够取得排除或者减轻了因射束硬化等的物理现象对X射线减弱造成的影响的检测信号,能够进一步提高使用该检测信号进行的各种处理的精度以及可靠性。

[0035] 另外,不同于单色X射线,实际上照射了连续光谱的X射线,因此检测出的光子数也极多,S/N也得到提高。

[0036] 尤其是,在将本发明所涉及的X射线装置应用于X射线异物检查装置的情况下,如果检测器具有两个以上的像素,则能够探查对象物的区域中更大范围的物质结构。另一方面,即使检测器为一个像素、或者即使是X射线光谱仪,也可以在探查对象物的某一较小区域的物质的性质和物质结构时发挥效果。

## 附图说明

[0037] 图1是说明本发明所涉及的X射线装置的一个实施方式的概要结构的框图。

[0038] 图2是说明在实施方式所涉及的X射线装置中倾斜配置的检测器的图。

[0039] 图3是说明在X射线的光子入射频度的光谱中设定了多个能量BIN的状态的图。

[0040] 图4是说明在数据处理装置中执行的对射束硬化等的影响进行的修正的概要的框图。

[0041] 图5是说明每个X射线的能量BIN的、X射线的光子入射量(计数)与透过量(计数:计数值)之间的关系图。

[0042] 图6是关于铝例示出每个X射线的能量BIN的、表示射束硬化等的影响的厚度 $t$ 与X射线减弱量 $\mu t$ 之间的关系模拟图。

[0043] 图7是用来说明制作用于修正射束硬化等的影响的修正用数据的图。

[0044] 图8是表示用于事先取得修正用数据的、以多个已知厚度形成为阶梯状并且由已知物质或者模仿已知物质的原材料形成的模型(phantom)(校准模型)的一例的立体图。

[0045] 图9是表示用于事先取得修正用数据的、以多个已知厚度形成为阶梯状并且由已知物质或者模仿已知物质的原材料形成的模型(校准模型)的另一例的立体图。

[0046] 图10是例示从修正用数据的取得到计测数据的修正、利用为止的处理的概要的流程图(也包括第一变形例的说明)。

[0047] 图11是说明三维分布图的概念的示意图。

[0048] 图12是说明吸收矢量长图像的概念的示意图。

[0049] 图13是说明第二变形例的X射线能量光谱的图。

[0050] 图14是说明第二变形例所涉及的由处理器执行的一部分处理的局部流程图。

[0051] 图15是说明第三变形例的X射线能量光谱的图。

[0052] 图16是说明第四变形例的、用来说明制作用于修正射束硬化等的影响的修正用数据的图。

[0053] 图17是说明在第四变形例中由处理器执行的一部分处理的局部流程图。

[0054] 图18是说明第五变形例的、说明运算点的指定的X射线能量光谱的图。

[0055] 图19是说明在第五变形例中由处理器执行的一部分处理的局部流程图。

## 具体实施方式

[0056] 下面,对本发明所涉及的X射线装置的实施方式进行说明。此外,在该X射线装置中还在功能性方面一体地搭载有本发明所涉及的数据处理装置。

[0057] [第一实施方式]

[0058] 参照图1至图12,对X射线装置(以及数据处理装置)的第一实施方式进行说明。

[0059] 图1中示出了该第一实施方式所涉及的X射线装置的概要。该X射线装置被实施为进行X射线异物检查或X射线乳房摄影的装置。这些装置的目的在于取得作为检查对象的对象物的断层像、投影像等的图像,除此之外,其目的尤其还在于确定(推定、特定)是否存在有可能附着或者混入于对象物(例如食品)的异物(即,作为对象的原材料之外的物质:例如铝等金属片、蟑螂等昆虫类)、和/或该异物的种类、性质。检查是否存在该异物的装置已知X射线异物检查装置。此外,本实施方式所涉及的X射线装置除了用于判断是否存在异物之外,还能够应用于在判断为存在异物的情况下用于确定该异物的种类或者性质(状态)的检查即所谓的物质确定。

[0060] 作为该物质确定的装置,例如已经从以下文献中获知:日本特开2013-119000号公报(发明名称:物质确定装置及物质确定方法)、日本公表特许公报W02014181889(A1)(申请号PCT/JP2014/062631、发明名称:采用X射线全景/CT摄影的物质识别装置和物质识别方法(SUBSTANCE IDENTIFICATION DEVICE AND SUBSTANCE IDENTIFICATION METHOD EMPLOYING X-RAY PANORAMIC/CT PHOTOGRAPHING))等。进一步,本发明人等为了对这些物质确定技术进行改良,提出了各种方案(例如,日本特愿2015-023446、日本特愿2015-85551等)。

[0061] 图1中示出了具备上述各种物质确定装置(还包括从物质确定的方面把握乳房病变的X射线乳房摄影装置)的基本结构的X射线装置10。

[0062] 如图1所示,作为X射线装置10的基本构成要素,该X射线装置10具备:X射线产生装置23,具备产生具有连续光谱的X射线的X射线管21;以及光子计数型的检测器24,与X射线管21对置配置,对X射线的光子数进行计数。从未图示的X射线高压装置向X射线管21供给用于照射X射线的驱动用高电压。作为检查对象(或者检查对象)的对象物OB位于在X射线管21与检测器24之间形成的空间S(对象空间)内。在检查对象物OB的情况下,一对X射线管21和检测器24与对象物OB彼此相对地移动。在把握构成对象物的物质的种类或者性质的X射线检查装置的情况下,对象物OB为需要检查的对象物自身。在这种情况下,对象物OB例如为人体的乳房。

[0063] 另外,例如在对有可能存在于对象物(原材料种类已知的食品、工业产品等)的内部(或者有可能附着在外部)的异物进行检查的X射线异物检查的情况下,对象物OB被置于搬运带48上并经过对象空间S(参照图2)。当然,也可以构成为将对象物OB固定,并使一对X射线管21及检测器24在该对象物OB周围移动。

[0064] 由此,X射线管21的管焦点F的焦点直径例如为 $0.5\text{mm}\phi$ 。因此,该管焦点F大致可视作点状的X射线源。从X射线管21射出的X射线借助准直器22成形为圆锥束状(或者扇形束状)。在图1中,示出了具有圆锥角 $\theta$ 和扇角 $\beta$ 的圆锥束状的X射线XB。图1所示的结构中,设定有以对象OB在对象空间S内移动的方向、即扫描方向为Z轴方向的XYZ轴直角坐标。以圆锥束状在高度方向即Y轴方向上扩散照射X射线XB。

[0065] 该圆锥束状的X射线束XB一边在对象物OB的内部减弱一边透过,该透过X射线入射至检测器24。在X射线乳房摄影的情况下,一对X射线管21和检测器24围绕被压迫于压迫板上的人体乳房,以规定角度范围旋转。

[0066] 如图2所示,检测器24例如具有纵列配置了多个(例如29个)二维的模块M(例如,具

有横纵为80纵×20横的尺寸为0.2mm×0.2mm的像素P)的纵长形状。由此,在检测层24A上形成纵向约47cm×横向0.4cm的所述X射线入射窗MD(就像素数而言,例如为20×2348个像素)。因此,虽然多个模块M自身排列成线状,但是构成为在像素排列方面在横向上也具有多个像素P的、二维的细长的直接转换型的检测器24。此外,在本实施方式中,如后所述,构成为对计测值的由于射束硬化等物理现象产生的影响进行修正。能够对每个像素P实施该修正,也能够将多个像素P虚拟地设定为一个区域来实施该修正。在图2中,作为像素区域PA,表示出将该多个像素虚拟地设定为一个区域的区域。

[0067] 该检测器24以其长轴方向在对象物0B的扫描方向(或者与该扫描方向正交的方向)上偏斜规定角度(例如约14度左右)的方式,倾斜配置在搬运带48的下方。

[0068] 各模块M的检测层24A是由CdTe、CZT等半导体材料成形的、从X射线直接转换为电信号的、所谓的直接转换型的X射线检测部件。虽未图示,但是在该检测层24A的上下两面实际上粘贴设置有电荷电极和收集电极。在这两个电极之间施加高压的偏压。

[0069] 进一步,该检测器24构成为光子计数型(photon counting type)的检测器,其将X射线视作具有各种能量的光子的集合,并能够按照X射线的能量BIN(区域)对这些光子的个数进行计数。作为该能量BIN,例如如图3所示设定有三个能量BIN:Bin<sub>1</sub>~Bin<sub>3</sub>。当然,该能量BIN:Bin的数量既可以是1个,也可以是多个。能量[keV]的下限阈值TH1以下的区域以及上限阈值TH4(相当于管电压)以上的区域为无法计测或者不使用的区域。因此,该阈值TH1~TH4之间的区域被分割为一个(在这种情况下,阈值仅为TH1以及TH4)或者多个能量BIN。例如如图3所示那样设定阈值TH2、TH3,形成三个能量BIN。

[0070] 在该检测器24中,层状的数据收集电路25作为ASIC层被嵌入检测层24A的下表面侧。因此,按照每个像素P并且按照每个能量区域BIN,每隔固定时间,通过数据收集电路25将X射线强度作为光子数的数字量的计数值(累计值)检测出来。由检测器24和数据收集电路25构成检测单元26。

[0071] 当一个光子(photon)入射至某个像素P时,在该像素P上产生与其能量值相应的波高值的电脉冲信号。该电脉冲信号的波高值、即能量值被分类到该值所属的能量区域BIN中,并使其计数值加1。该计数值按照每个像素P并且按照该每个能量区域BIN被数据收集电路25收集,以作为每隔固定时间的累计值(数字值)。

[0072] 通过将该数据收集电路25中的采样频率设定为较高的值,例如以6600fps的帧率,例如从20×2348个像素的像素中分别收集作为数字量的计数值,而且按照每个能量区域BIN进行收集。

[0073] 这种直接转换型检测器包括其数据收集电路在内是公知的,例如欧洲专利公开2674787号公报所示。

[0074] 此外,作为检测器24,并非一定为上述的直接转换型检测器,也可以是如CeLaCl<sub>3</sub>检测器那样在直径为数十μm左右的Micro Column状闪烁体上构成有SiPM(也称为MPPC)的光子计数型检测器。

[0075] 从检测单元26的数据收集电路25每隔固定帧反复输出的每个像素且每个能量区域BIN的数字量的计数值,作为帧数据经由通信线路LN被发送给其后段的数据处理装置12。

[0076] 数据处理装置12也可以设置为与X射线装置10一体的装置或者检查系统。另外,如本实施方式这样,在数据处理装置12经由通信线路LN以可通信的方式连接于X射线装置10

的情况下,可以始终在线连接,也可以是仅在需要时能够进行通信。进一步,也可以以单机形式设置数据处理装置12。

[0077] 作为一个例子,数据处理装置12由计算机CP构成。该计算机CP自身可以是公知的具有运算功能的计算机,并具备通过通信线路LN与检测单元26连接的接口(I/O)31。在该接口31上,通过内部总线B以例如可经由信号线相互进行通信的方式连接有缓冲存储器32、ROM(read-only memory:只读存储器)33、RAM(random access memory:随机存取存储器)34、具备CPU(central processing unit:中央处理器)的处理器35、图像存储器36、输入器37以及显示器38。

[0078] 在ROM33中预先存储有计算机可读的用于计测值修正以及物质确定的各种程序。为此,ROM33具备预先存储这些程序的程序存储区域(作为Non-transitory computer readable medium(非暂时性计算机可读介质)发挥功能)33A。进一步,该ROM33还具备如后所述的存储作为校准的用于计测值修正的数据的第一、第二数据存储区域33B、33C(第一、第二存储单元)。

[0079] 处理器35从ROM33的程序存储区域33A中将所需的程序读取到自己的工作区中并执行该程序。处理器35是图像处理用的CPU。缓冲存储器32用于暂时保管从检测单元26发送过来的帧数据。RAM34用于在处理器35进行运算时暂时存储运算所需的数据。

[0080] 图像存储器36用于保管由处理器35处理后的各种图像数据和信息。输入器37以及显示器38作为与用户之间的人机界面发挥其功能,其中,输入器37受理来自用户的输入信息。显示器38能够在数据处理器35的控制下显示图像等。

[0081] [修正处理]

[0082] 在此,对在该处理器35中执行的、本发明的特征所涉及的、通过具有连续光谱的X射线照射以及光子计数型检测进行X射线检测的系统中的光子计数值的修正处理进行说明。

[0083] (背景)

[0084] 首先,对该计测值的修正的背景进行说明。

[0085] 近年来,希望使用具有连续光谱的X射线来确定对象物的种类和形状的需求随处可见。作为其一个例子,从食品安全的观点出发,存在着对有时会包含在食品内部的异物进行的检查。

[0086] 使用该连续X射线光谱的原因在于,原本使用单色、也就是使用具有某种特定能量的X射线进行检查的方法虽然图像的定量性高、也容易控制画质,但是难以实现。用于产生单色X射线的装置需要使用同步加速器等的加速器,从成本方面、安装方面以及输出功率的问题来看,可使用的状况受限。

[0087] 与此相对地,连续光谱的X射线(多色X射线)可通过在真空环境下用高电压对电子进行加速使其碰撞钨或钼这样的靶材而获得。也就是说,与获得单色X射线的情况相比,能够比较容易地进行安装,并且在成本方面也能够以极其低廉的价格构成。但是,使用具有该连续能量的多色X射线进行摄像,也存在着牺牲画质的定量化的问题。

[0088] 尤其是,作为严重影响画质的一个因素,包括射束硬化(线质硬化)。射束硬化是指,当连续X射线经过物质时,低能量的部分被大量吸收,其结果是会出现平均(有效)能量向能量较高的一侧转移的现象。在发生该射束硬化时,会产生伪影,或者重建的图像的像素

值不准确。射束硬化在某种程度上也依赖于物质的厚度(越厚射束硬化越大)。该射束硬化在物理上可概括为是由于X射线光子的能量差异导致对象物的分子(原子)与X射线光子之间的相互干涉不同而产生的结果。此外,作为这种由物理现象引起的画质因素,除了射束硬化之外,还存在起因于X射线发生器侧的足跟效应等。根据本发明的计测值的修正,其特征还在于能够一并减轻由这些多种物理现象引起的不良影响。

[0089] 进一步,该计测值的修正也能够一并地修正由于电路部件和电路基板的个体差异造成的计测值的误差。这种误差包括每个像素的增益偏差、偏移的偏差、线性的偏差、电荷分享的偏差等。这些偏差有时会对进行高精度的数据处理(物质确定等)带来妨碍,而这些偏差也可得到改善。

[0090] 本发明人等在直至目前为止未受关注的各能量BIN中也发现了由于X射线能量的大小而存在射束硬化等的影响,并开发/提供用于改善该问题的修正法。只要所涉及的物理现象是作为对象物的物质或装置所固有的现象,则该修正法能够将其视作一种校准,因此修正用数据也可称为校准数据。

[0091] (修正的概要)

[0092] 作为本实施方式所涉及的X射线装置的一例,列举X射线异物检查装置,通常,作为检查对象的对象物(例如青椒等食品)为已知的物质(例如主成分可视作水分),预先将想要检测的异物缩限为例如金属(例如,铝、玻璃、铁等一种或者多种)来进行检查。因此,本发明所涉及的计测值的修正法通过预先取得各已知物质的修正用数据,从而使用该修正用数据来实施。本发明所涉及的X射线装置提供用于实现该修正所需的处理的基本结构。因此,本实施方式的X射线装置的基本结构能够概括如下。

[0093] 该基本结构如图4所示,以处理器35的处理为中心的数据处理装置12在硬件上或者软件上至少具备特性取得部51和修正用数据运算部52。另外,数据处理装置12也可以在功能上具备修正部53。

[0094] 也就是说,这些构成要素51~53可以在功能上实现为处理器、即由计算机进行的软件的处理,也可以通过进行流水线处理的硬件电路来制成。

[0095] 特性取得部51构成为,根据检测器24输出的计数值,按照每个X射线能量BIN取得X射线减弱量 $\mu t$ 的特性,所述X射线减弱量 $\mu t$ 的特性通过与对象物同种的物质、或者由可视作X射线的线减弱系数与对象物近似的原材料组成的物质在X射线的线束透过的方向上的多个不同的已知厚度 $t$ 和该线减弱系数 $\mu$ 定义。修正用数据运算部52构成为,按照每个X射线能量BIN计算修正用数据,所述修正用数据用于将由该特性取得部51取得的X射线减弱量 $\mu t$ 的特性置换成在以厚度 $t$ 为横轴(一个轴)、并且以X射线减弱量 $\mu t$ 为纵轴(与一个轴正交的另一轴)的二维坐标(参照下述的图7)中经过该坐标的原点的直线状的目标特性。

[0096] 通过将该修正用数据预先保存在ROM33的规定区域中,能够在处理计数值时从ROM33中读取该修正用数据并使用该修正用数据。另外,该修正用数据既可以在检查前取得,也可以在检查的间隙、检查过程中或者检查后取得。进一步,通过一次预先保存所取得的修正用数据,还能够在之后每次取得时更新修正用数据并使用修正用数据。

[0097] 此外,也可以按照每个X射线能量BIN并且按照每个像素P或者每个像素区域PA实施上述的特性取得以及修正用数据运算,所述像素区域PA由两个以上的该像素P组成。进一步,也可以对由一个像素组成的X射线检测器或者X射线传感器的检测信号进行上述的特性

取得以及修正用数据运算。进一步,也可以对X射线光谱仪(例如,EMF日本(株式会社)制造,EMF123型X射线光谱仪)所检测出的信号进行上述的特性取得以及修正用数据运算。

[0098] 进一步,在具备修正部53的情况下,该修正部53构成为,根据修正用数据,按照每个X射线能量BIN(或者,按照每个X射线能量BIN并且按照每个像素P或者每个像素区域PA)对计数值进行修正。

[0099] 下面,对该计测值的修正法进行详细说明。

[0100] (修正法的细节)

[0101] 本发明以如下所述的系统为前提:向对象物照射具有连续光谱的X射线,将该透过X射线例如辨别为多个能量BIN: $Bin_i$  ( $i=1,2,\dots$ ) 并且进行光子计数型的检测,以求出计数值。在该系统中专注于,根据每个X射线能量BIN的输入输出计算出的 $\mu t$  (由 $-\ln(\text{输出计数}C_{1i}/\text{输入计数}C_{0i}; i=1,2,\dots)$ 计算)的特性,与对象物在X射线透过方向的厚度 $t$ 相应地偏离经过坐标上的原点的直线(目标特性),也就是说,也包括不同于单色X射线的特性(这是各X射线能量BIN内的射束硬化或足跟效应)和像素型半导体检测器的电荷分享等的要素。利用乘法系数对计测出的X射线减弱量 $\mu t$ 进行修正,从而使该偏离的X射线减弱量 $\mu t$ 的曲线经过原点并且斜率等于线减弱系数 $\mu_{i0}$ (固定值,不是 $t$ 的函数)。呈现出该斜率 $\mu_{i0}$ 的直线状的特性为与单色X射线相当的目标特性。例如按照每个X射线能量BIN并且按照每个像素设定该目标特性。

[0102] 上述乘法系数是作为修正用数据发挥其功能的数据,预先通过校准(修正用)模型来求出,该校准(修正用)模型为已知的原材料并且具有多个已知厚度。

[0103] 该模型由与对象物相同的物质、或者由有效原子序数可视作与对象物类似的原材料组成的物质构成。在此,有效原子序数定义为,“对象物由多个物质(原材料)构成的情况下的、该对象物的平均原子序数 $Z_{\text{eff}}$ ”(例如,参照Isotope News、2014年8月号、No.724、《将有效原子序数 $Z_{\text{eff}}$ 可视化的新X射线成像方法》)。另外,“与对象物相同的物质”是指,由具有相同成分的原材料(同种原材料)组成的物质。进一步,“由有效原子序数可视作与对象物类似的原材料组成的物质”是指,例如根据本发明人们的见解,“具有所述对象物的有效原子序数 $\pm 5$ 的范围内的有效原子序数的原材料”。尤其是还得到了以下见解,即、在实际摄像中想要更高精度地确定存在于对象物内部的物质(异物等)的种类和性质的情况下(例如在乳房摄影中想要高精度地求出乳腺含有率的情况等),作为这种模型用的物质,优选由“具有所述对象物的有效原子序数 $\pm 2$ 的范围内的有效原子序数的原材料”组成的物质。例如,如果对象物的有效原子序数 $=7.2$ ,则作为模型使用的原材料的有效原子序数 $=7.2 \pm 5$ ,优选为 $7.2 \pm 2$ 。

[0104] 以发明人等进行的、在乳房摄影中执行的物质确定所必需的射束硬化修正为例,对该数值范围的背景进行说明。乳房在正常情况下由脂肪和乳腺构成,乳房的状态通过乳腺和脂肪的比例体现。因此,只要能够以与乳腺50%、脂肪50%的组织相同的成分进行射束硬化修正即可,但是实际上难以得到这种成分的模式,只有通过组合其他的一般材料来制作模型。本次,发明人等制作了与株式会社京都科学(KYOTO KAGAKU Co., LTD)制造的乳房等价板状模型XUR型内的乳腺为50%、脂肪为50%等价的模型,并尝试了射束硬化修正。其结果是,得到了良好的修正结果。另一方面,使用铝构成模型并尝试了射束硬化修正,但是修正依赖于组织的厚度,未能实现高精度的物质确定。由此可知,使用基于有效原子序数的

观点选出的类似的原材料的模型制作修正用数据(校准数据),并利用该数据进行射束硬化修正是很重要的。

[0105] 首先,作为使用上述模型进行的事先计测的一例,对多个能量BIN为3个的情况,说明各能量BIN与X射线减弱量之间的关系。

[0106] 如图5所示,在图5的横轴上示意性地示出了图3所示的X射线的能量BIN:Bin<sub>1</sub>~Bin<sub>3</sub>,在纵轴上将在各能量BIN:Bin<sub>i</sub>(i=1~3)中计数的X射线光子的计数值表示为频度。当进行具有连续光谱的X射线的照射时,针对每个能量BIN:Bin<sub>i</sub>,在对象物内出现光子的吸收/透过,并且该透过光子被检测出来。当设向各能量BIN:Bin<sub>i</sub>入射的入射光子数为C<sub>1</sub><sub>1</sub>、C<sub>1</sub><sub>2</sub>、C<sub>1</sub><sub>3</sub>时,射出光子数C<sub>0</sub><sub>1</sub>、C<sub>0</sub><sub>2</sub>、C<sub>0</sub><sub>3</sub>表示为:

$$[0107] \quad C_{01} = C_{11} \times e^{-\mu_1 t}$$

$$[0108] \quad C_{02} = C_{12} \times e^{-\mu_2 t}$$

$$[0109] \quad C_{03} = C_{13} \times e^{-\mu_3 t}。$$

[0110] 在此, $\mu_1$ 、 $\mu_2$ 、 $\mu_3$ 为各能量BIN:Bin<sub>i</sub>中的虚拟平均线减弱系数(即、相对于各能量BIN的有效能量的线减弱系数),t为对象物在X射线透过方向上的路径的厚度。在此,前提条件为,各能量BIN:Bin<sub>i</sub>的虚拟平均线减弱系数 $\mu_i$ ( $\mu_2$ 、 $\mu_3$ )不依赖于厚度t。

[0111] 图6中示出了在照射连续光谱的X射线的情况下,作为物质采用了铝(A1),对其厚度t与虚拟减弱值 $\mu_i t$ (i=1~3)进行实际测量而得到的结果。图6的(A)、(B)、(C)的图中,按照最低的能量BIN:Bin<sub>1</sub>、中间区域的能量BIN:Bin<sub>2</sub>、最高的能量BIN:Bin<sub>3</sub>的顺序示出了虚拟减弱值 $\mu_i t$ 的特性。在这些图中,直线为照射与各能量BIN:Bin<sub>i</sub>的中间能量相当的单色X射线时的虚拟减弱值 $\mu_i t$ 的计算值(理论值)。与此相对地,照射连续光谱的X射线时,表示虚拟减弱值 $\mu_i t$ 的特性偏离直线特性,并且越是低能量侧的BIN,弯曲越大。任意的弯曲都能够用二次曲线大致近似。这明显是因为受到了以射束硬化为主的各种因素的影响,并且该影响的程度随着厚度t的增大而变大。

[0112] 当这样表示虚拟减弱值 $\mu_i t$ 的特性偏离了与单色X射线照射时相当的、经过坐标原点的直线特性时,在混有厚度不同的同一物质的情况下,在三维分布图上产生从以1个点为中心的一定范围的分布中偏离的分布点。换言之,这意味着,相对于所述各能量BIN的有效能量的线减弱系数 $\mu_i$ 不随厚度t变化的前提被破坏。

[0113] 也就是说,无法确定用于作为采用本修正的优选的一例的、进行物质确定(确定、特定、推断种类)的分布状况,或者可靠性较低。

[0114] (修正用数据的取得)

[0115] 因此,以使上述偏离的虚拟减弱值的曲线变为在各能量BIN中与照射特定的单色X射线时相当的、经过坐标原点的直线(直线状的目标特性)的方式,预先确定修正用数据。例如,该修正用数据是将所涉及的曲线修正为经过坐标原点的直线的乘法系数。

[0116] 根据图7,对事先准备该修正用数据的方法进行说明。该修正用数据在实际的X射线检查或X射线摄影之前事先取得,并存储/保存在ROM33、即存储单元中。在进行用于实际的检查或摄影的扫描时,从ROM33中读取这些修正用数据,并按照每个像素P或者每个像素区域PA对通过该扫描被收集为帧数据的计数值进行修正。

[0117] 图7的纵轴以及横轴与图6的(A)~(C)相同,代表性地表示出了这些图。现在假设物质由铝(A1)形成。图7所示的曲线表示相对于物质在X射线投影方向的厚度t的、计测出的



虚拟减弱值,直线表示相对于X射线透过方向的厚度 $t$ 的、虚拟减弱值 $\mu_{it}$  ( $i=1\sim 3$ )的特性例。

[0118] 其中,直线表示向铝照射具有各能量 $BIN_i$  ( $i=1\sim 3$ )的有效能量的单色X射线时的虚拟减弱值 $\mu_{it}$ 的特性。该直线以斜率 $\mu_{i0}$ 经过二维坐标的原点。通过基于后述的弯曲曲线的近似计算求得该直线。

[0119] 另一方面,弯曲曲线是改变X射线透过方向的厚度 $t$ 的同时向由铝形成的物质照射具有连续光谱的X射线(多色X射线)时的特性例。由于是多色X射线,因此,如前所述,由于射束硬化等的影响发生弯曲而并非沿着直线。例如使用厚度 $t$ 已知且具有相互不同的多个部分的模型来取得照射多色X射线时的虚拟减弱值 $\mu_{it}$ 的特性。

[0120] 在此,当设 $\mu_{im}(t)*t$ 为通过X射线能量 $BIN_i$ 和厚度 $t$ 计算的虚拟减弱值(在此, $\mu_{im}$ 为虚拟线减弱系数, $t$ 为厚度),

[0121]  $\mu_{i0}*t$ 为各X射线能量 $BIN_i$ 的厚度 $t$ 中的与单色X射线相当的线减弱系数 $\mu_{i0}$ (不是 $t$ 的函数),

[0122]  $C_i(t)$ 为用于将线减弱系数 $\mu_{i0}$ 替换为不依赖于厚度 $t$ 的乘法修正系数时,根据式

$$[0123] \quad \mu_{i0}*t = C_i(t) * \mu_{im}(t)$$

[0124] 计算乘法修正系数 $C_i(t)$ 。该乘法修正系数 $C_i(t)$ 构成修正用数据。

[0125] 也就是说,设想一个或者多个作为修正系数 $C_i(t)$ 的候补的函数型,并用某一个函数型(例如二次函数)进行近似。之后,能够根据关于所取得的一个以上的厚度 $t$ 的、X射线减弱量 $\mu_{im}(t)*t$ 的特性,将修正用数据 $C_i(t)$ 作为使下式

[0126] [数学式1]

$$[0127] \quad \sum_{t_{\min}}^{t_{\max}} [(\mu_{im}(t) - \mu_{i0})^2 \times t^2] \quad (i=1, 2, 3)$$

[0128] 变为最小的值计算出来。 $t_{\min}$ 、 $t_{\max}$ 为包括对对象物进行检查时在设想的X射线的线束的透过方向上的、该对象物的厚度的下限值以及上限值在内的大范围的值。

[0129] 这样针对每个厚度 $t$ 计算的修正用数据 $C_i(t)$ 被保存在ROM33的第一数据存储区域33B中。另外,表示在该运算过程中得到的上述函数型(例如二次函数)的近似数据也被保存在ROM33的第二数据存储区域33C中。

[0130] (模型)

[0131] 因此,在本实施方式中使用各种模型,对每个像素实施图7所示的虚拟减弱值 $\mu_{im}(t)*t$ 的事先计测,并如前所述那样对每个像素求出修正用数据 $C_i(t)$ 。

[0132] 作为模型,使用物质种类已知的模型(例如,模仿了青椒的水模型、模仿了铝的铝模型)。在图8中,作为一例,示意性地示出了在进行用于检查在作为食品的青椒中混入铝等金属异物的X射线异物检查时的、青椒的模型FM1。青椒的大部分成分为水分,因此该模型FM为在X射线透过性较高的容器中加入了水的模型,并且是其一部分的高度即X射线透过方向上的厚度 $t$ 在 $t=1\text{mm}\sim 19\text{mm}$ 的范围内以阶梯状变化的结构。该厚度 $t$ 设定为,涵盖实际异物检查中的青椒的原材料厚度。另外,在模仿了食品等对象物中含有的异物的模型的情况下,通常比对象物小,因此,例如在铝模型的情况下,可以为具有极薄的阶梯的多个已知厚度、并且最小厚度和最大厚度也较小的模型。

[0133] 进一步,在图9中示出了模型FM2的例子。该模型FM2为人体的肌肉与脂肪

(Adipose) 70%的混合物的模型,为了涵盖在检查时实际设想的厚度,作为一例,该模型FM2为在4~40mm的范围内以4mm为单位使厚度呈阶梯状变化的结构。

[0134] (整体处理的一例)

[0135] 作为一例,数据处理装置12的处理器35执行图10所示的处理。处理器35指示操作者将期望的物质的模型FM1 (FM2) 放置到X射线装置10的检查位置的规定位置(步骤S1),当该配置结束时,使X射线装置10工作,对模型FM1进行X射线扫描,并收集其计测值(步骤S2)。接下来,如前所述,计算修正用数据 $C_i(t)$  (步骤S3),将其存储并保存在ROM33的第一数据存储区域33B中(步骤S4)。

[0136] 接下来,处理器35在其与操作者之间交互确认是否对其他模型进行同样的运算(步骤S5),在进行同样的运算的情况下,使处理返回步骤S1,使用下一个模型FM2 (FM1) 重复上述处理。模型的数量并不限于2个,根据想要检查的对象物和异物的种类、性质,能够使用更多的模型,并与之相应地准备相对于更多种类的物质的修正用数据。

[0137] 在基于该模型的事先计测以及修正用数据的计算结束时,结束处理(步骤S6:是)。但是,在判断为未结束的情况(步骤S6:否)下,使处理执行S7之后的检查处理。

[0138] 首先,处理器35在其与操作者之间交互进行作为检查对象的对象物的选择、摄影条件设定等的检查准备(步骤S7),启动X射线装置10进行X射线扫描(例如异物检查:步骤S8)。由此,收集对象物的帧数据、即各能量BIN:  $Bin_i$  (例如 $i=1,2,3$ ) 的例如每个像素P的计测值。

[0139] 因此,处理器35读取保存在ROM33的第一数据存储区域33B中的对象物(例如食品(青椒))的修正用数据 $C_i(t)$  (步骤S9),并对根据计测值求出的虚拟减弱值 $\mu_{im}(t)*t$ 乘以修正用数据 $C_i(t)$ ,计算与单色X射线相当的线减弱值 $\mu_{io}*t$  (步骤S10)。也就是说,对由于射束硬化等的影响并非沿着直线而沿着弯曲的曲线的虚拟减弱值 $\mu_{im}(t)*t$ 进行修正。这就如同事先得知了射束硬化等的X射线特有的、不进行X射线检查就无法把握的误差原因那样,也可视作在计测后总括地进行校正的校准。此外,该修正(校准)也可以以像素区域PA单位执行。

[0140] 上述处理结束后,处理器35在其与操作者之间交互处理计测值,进行是否存在可能存在于作为检查对象的对象物中的异物的确认、异物种类的确定等(步骤S11)。在确定异物时,例如与前面所述同样地使用由铝或其他物质的模型制作的修正用数据 $C_i(t)$ 。

[0141] 作为该确定法的一例,如前所述,已知日本特开2013-119000、日本公表专利公报W02014181889 (A1) 等。另外,本发明人等在日本特愿2015-023446、日本特愿2015-85551中提出了该确定法的改良方案。

[0142] 进一步,处理器35例如通过各种方式的显示或者印刷提示计测值的处理结果(步骤S12)。之后,结束处理。

[0143] 此外,在上述处理中,步骤S1、S2的工序在功能上构成了上述的特性取得部51(相当于特性取得单元),步骤S3、S4的工序在功能上构成了上述的修正用数据运算部52(相当于修正用数据运算单元),步骤S9、S9的处理在功能上构成了所述修正部53(相当于修正单元)。进一步,步骤S11的工序相当于处理单元,步骤S12的工序相当于提示单元。

[0144] 下面,作为该处理结果的提示例,对三维分布图以及吸收矢量长图像进行举例。

[0145] 在本实施方式中,由于使用了三个能量BIN:  $Bin_i$ ,因此线减弱值 $\mu_{it}$ 具有三个自由

度。因此,在设定了三维矢量 $(\mu_{1t}, \mu_{2t}, \mu_{3t})$ ,并将三维的线减弱矢量 $(\mu_1, \mu_2, \mu_3)$ 的长度、即以线减弱矢量长 $(\mu_1^2 + \mu_2^2 + \mu_3^2)^{1/2}$ 为分母的标准化后的三维矢量(以下称为线减弱矢量)计算为 $(\mu_1, \mu_2, \mu_3) / (\mu_1^2 + \mu_2^2 + \mu_3^2)^{1/2}$ 时,厚度 $t$ 的成分从该线减弱矢量中消失。当设定相互正交的三个轴分别表示 $\mu_{1t}, \mu_{2t}, \mu_{3t}$ 的三维坐标时,该三维线减弱矢量的起点位于该三维坐标的原点,终点位于半径为1的例如球体表面。在对各像素计算该三维线减弱矢量并映射到上述三维坐标上时,它们的终点作为以该球体表面的规定的一点为中心分布在其周边的一定范围内的、表示统计误差的点的集合,形成分布点。本发明人等将绘出这种分布点的三维映射图称为三维分布图。图11示出了该三维分布图的例子。在图11中,附图标记 $V_r$ 表示三维线减弱矢量,附图标记 $DP$ 表示分布点。

[0146] 线减弱矢量的终点在该球体表面、即在三维分布图中的分布状况是构成对象物的物质的种类自身所固有的。也就是说,如果物质的种类不同,分布位置在理论上是不同的,由此能够确定物质的种类。这些事实通过本发明人等的模拟得到了确认。

[0147] 进一步,能够通过 $t(\mu_1^2 + \mu_2^2 + \mu_3^2)^{1/2}$ 计算各像素中的矢量长度,本发明人等将该标量称为吸收矢量长(或者拟似吸收值)。能够以该吸收矢量长为像素值来制作二维图像,本发明人等将该二维图像称为吸收矢量长图像(或者拟似吸收图像)。图12示出了该吸收矢量长图像的例子。

[0148] 此外,也能够只计算三维分布图以及吸收矢量长图像中的任一者。

[0149] 根据本发明人的模拟,确认了以下情况:通过执行对上述射束硬化等的造成X射线光谱误差的原因进行修正(或者校准)的处理,与以往相比,在三维分布图上描绘的物质的描绘能力大幅提升,并且吸收矢量长图像与每个物质的厚度成比例。

[0150] 这样,根据本实施方式,X射线装置使用在多个能量BIN中分别对X射线光子进行计数的检测器,并使用具有连续光谱的X射线扫描对象物,在该X射线装置中,从含有因以射束硬化为首的足跟效应等X射线减弱因素、电荷分享等电路因素引起的误差在内的计测值中大幅地减小该误差。由此,计测值如同从开始就被校准那样得到修正,其可靠性提高。即、在基于该计测值进行图像重建和对象物的分析时,这些处理更加稳定并且可靠性更高。在基于计测值确定物质的种类和性质的情况下,其确定精度提高。

[0151] 进一步而言,即使在一个能量BIN内并且为相同的物质,由于射束硬化,也是厚度越厚有效能量越高。由此,通常,其并不呈现对各能量BIN分配一个代表的单色X射线的特性。但是,根据本实施方式,对来自各能量BIN的计数值进行修正,从而使其如同向每个能量BIN照射某单色X射线那样动作。因此,能够减小由射束硬化等引起的系数值的误差因素,减少作为检查信息的检查图像和分析图中的失真成分、噪声等,提高所涉及的检查信息的可靠性。

[0152] 根据要检查的对象物的物质的结构,有时也可以使用接近某个主要构成物质的原材料来制作修正用数据,而不准备多组修正用数据。在这种情况下,有时也能够进行高精度的物质确定,而对于其他的原材料也无需额外准备修正用数据。例如在乳房摄影中的乳腺、脂肪、恶性肿瘤、钙化等物质结构的情况下,如果用与作为正常组织的乳腺、脂肪等的平均成分接近的有效原子序数的原材料来制作修正用数据,则能够充分地进行高精度的物质确定。

[0153] 另外,这种修正也能够应用于具备一个像素的X射线检测器(或者X射线传感器)或

者通过X射线光谱仪检测对象物的透过X射线的系统。当然,即使是这种系统,如果在统计上能够得到充分的高精度的计数信息,则也能够进行有效的物质确定。

[0154] 另外,换个角度,能够将本发明的结构应用于物质的重量和厚度的检测。也就是说,在前面所述的实施方式中,以物质的厚度和X射线减弱值经过原点的直线的方式进行了修正。由此,在以单一种类的物质为中心构成对象物的情况下,如果线减弱系数是已知的,则也能够高精度地计算物质的重量和厚度。使用X射线进行的重量测定能够通过用于食品异物检查的X射线IN-LINE检查装置部分实现。但是,这只能在应用范围(厚度和种类)比较限定的蔬菜等的成分构成比较单纯的物质的检查等的领域中实现。由于光子计数型检测器的动态范围(应用范围)比较广,因此,只要以使各能量BIN的信息不为0的方式调整X射线照射条件,能够进行高精度的重量测定的范围便会飞跃性地扩大。另外,可以说在现有技术中,不存在本发明这种简便地推断厚度的方法。

[0155] [变形例]

[0156] 对于在上述实施方式中说明的修正用数据的取得,能够进一步以各种方式实施。

[0157] (第一变形例)

[0158] 首先,对于在前面所述的在图7中说明的直线状的目标特性,列举出各种变形例。前面所述的目标特性的求取方法只是一例,该直线能够自由设计。

[0159] 例如,可以将连接对象物的代表性厚度 $t_r$ 与相当于该代表性厚度 $t_r$ (例如参照图7)的X射线减弱量 $\mu t_r$ 之间的交点和原点的直线设定为直线状的目标特性,所述对象物的代表性厚度 $t_r$ 是根据与该对象物同种的物质或者与该对象物近似的物质的多个相互不同的厚度 $t$ 设定的。可以通过处理器35或者外部的处理装置预先计算该目标特性,并存储在ROM33的第一数据存储区域33B中。能够在前面所述的图10的步骤S3中,从ROM33的第一数据存储区域33B中读取该目标特性的信息,并在修正用数据的运算中加以使用。

[0160] (第二变形例)

[0161] 与上述相同地,该第二变形例也涉及目标特性的其他的设定法。

[0162] 该设定法将以根据X射线能量Bin各自的有效能量或者固定能量的理论值计算出的线减弱系数为斜率、并且经过原点的直线设定为目标特性。

[0163] 在此,对使用X射线能量BIN各自的有效能量的情况进行说明。图13中示意性地示出了X射线能量光谱的一例。在图13的光谱的情况下,与图3同样地设定了三个能量Bin1~Bin3。在这种情况下,在各能量Bin1(~Bin3)中,有效能量 $E_i$ 能够通过下式计算出来。

$$[0164] \int_{E_{THi}}^{E_i} C(E)dE = \frac{1}{2} \int_{E_{THi+1}}^{E_{i+1}} C(E)dE$$

$i=1、2、3$

[0165] 这意味着,能量阈值 $E_{THi}$ ~有效能量 $E_i$ 之间的光子的计数为能量阈值 $E_{THi}$ ~ $E_{THi+1}$ 之间的光子的计数的1/2。

[0166] 因此,处理器35大致如图14所示那样进行处理。也就是说,处理器35与前面所述的实施方式同样地,在从线减弱系数的观点出发模仿了摄像对象物的物质(模型)的能量光谱图中(参照图14、步骤S201、S202),基于上式计算各有效能量 $E_i$ (S203)。进一步,计算该各有效能量 $E_i$ 中的质量衰减系数( $\mu/\sigma$ : $\mu$ 为线减弱系数、 $\sigma$ 为密度)与密度 $\sigma$ 相乘得到的值 $\mu$ (线减

弱系数),并将该值 $\mu$ 采用为斜率(步骤S204)。接下来,处理器35将具有该斜率 $\mu$ 并且经过原点0的直线设定为目标特性,并基于该目标特性计算修正用数据(校准数据)(S205、S206)。进一步,将该修正用数据保存在ROM33的第一数据存储区域33B中(S207)。

[0167] 由此,与图7同样地,在各X射线能量Bin中按照每个像素或者按照由规定数量的像素组成的每个区域设定目标特性,并计算修正数据。在该计算后,同样地实施图10的步骤S5之后的处理。由此,在各X射线能量Bin中,通过更少的运算量,能够设定更准确的目标特性,从而简单地执行射束硬化修正。

[0168] 此外,也可以在各X射线能量Bin中,取代有效能量,而采用能量幅度的中心位置等的固定能量值来设定目标特性。

[0169] (第三变形例)

[0170] 第三变形例涉及根据校准模型所呈现的厚度 $t$ 的大小部分,改变取得修正用数据的厚度刻度 $\Delta t$ 的方法。这是因为,一般来说,厚度 $t$ 越薄越需要高精度地执行射束硬化修正。因此,如图15中示意性地示出的那样,校准模型的厚度 $t$ 越薄,厚度刻度 $\Delta t$ 的值设定得越小(例如 $\Delta t_1 < \Delta t_2$ )。由处理器35在图10的步骤S3中执行该厚度刻度 $\Delta t$ 的变更设定(参照步骤S3A)。由此,能够取得与厚度 $t$ 相应的更加精细的修正用数据(乘法修正系数 $C_i(t)$ :校准数据)。

[0171] (第四变形例)

[0172] 在前面所述的实施方式中,如图7所示,将物质的设想厚度 $t$ 的整个区域作为一个区间,用二次函数等来近似X射线减弱量 $\mu t$ 的特性,并取得将该近似式所表示的曲线修正成斜率为 $\mu_{i0}$ 的目标特性的修正用数据。对此,能够进一步以各种方式实施。例如,如图16所示,也能够将对象物的厚度分为多个区间,例如分为较薄的区间 $t_a$ 、中等程度的厚度区间 $t_b$ 以及较厚的区间 $t_c$ ,并对每个区间进行前面所述的近似式的运算以及计算修正用数据的运算。

[0173] 因此,如图17所示,处理器35在图10的步骤S3中分别对通过模型测定出的X射线减弱量 $\mu t$ 的区间 $t_a$ 、 $t_b$ 、 $t_c$ 进行函数近似(步骤S31)。接下来,处理器35分别对区间 $t_a$ 、 $t_b$ 、 $t_c$ 计算将近似式所表示的曲线修正(匹配)成斜率为 $\mu_{i0}$ 的目标特性的修正用数据(步骤S32)。最后,处理器35将各区间的修正用数据合成为一个修正用数据,并保存在ROM33的第一数据存储区域33B中(步骤S33)。

[0174] 此外,在该三个区间 $t_a$ 、 $t_b$ 、 $t_c$ 中,也可以选择任意一个或者两个区间作为重点修正区间,并与上述同样地进行处理。

[0175] 这样,对于对象物的厚度 $t$ 的整个区域或者一部分,能够更加精细地取得修正用数据。

[0176] (第五变形例)

[0177] 第三变形例在设定分割区间方面与第二变形例的方法相似,不同之处在于第三变形例一边使该分割区间在厚度 $t$ 的方向上移位,一边计算修正用数据。

[0178] 参照图18,概念性地对该第五变形例的方法进行说明。图18所示的曲线概念性地示出了在图16中说明的、使用校准模型测定出的虚拟减弱值 $\mu_{im}(t) * t$ 的曲线。在该曲线中,最初(第一次)例如用二次曲线来近似经过包括原点0在内的例如O、A、B三个点的曲线,并制作该O、A、B三个点中最初的两个点O、A、或者将这两个点O-A之间细分的厚度刻度 $\Delta t$ 大小

(在厚度方向上可变或固定皆可)的修正用数据。接下来,作为第二次处理,使运算对象点向厚度 $t$ 的较厚一侧移动,例如用二次曲线来近似经过A、B、C三个点的曲线,并制作该A、B、C三个点中最初的两个点A、B、或者将这两个点A-B之间细分的厚度刻度 $\Delta t$ 大小的修正用数据。接下来,作为第三次的处理,使运算对象点向厚度 $t$ 的较厚一侧移动,对B、C、D三个点同样地进行处理。第四次之后也同样地进行处理。此外,可以是厚度 $t$ 越大将运算对象点A、B、C、D……I设定得越宽,也可以是固定间隔。在固定间隔的情况下,可以是厚度 $t$ 越大将厚度刻度 $\Delta t$ 设定得越大。

[0179] 在这种情况下,作为前面所述的步骤S3、S4的处理的一部分,处理器35进行图19所示的处理。首先,处理器35基于预先确定的信息,设定包括原点0在内的多个运算点0、A、B、C、D……I(步骤S310)。接下来,处理器35指定包括原点0在内的最初的两个点0、A、B(步骤S311),进一步,在其中的两个点0、A或者它们之间的厚度刻度 $\Delta t$ 的位置处计算/保存修正用数据(步骤S312)。进一步,在使运算点向厚度 $t$ 较大的方向移动例如一个点,指定接下来的三个点A、B、C之后(步骤S313),在其中的两个点A、B或者它们之间的厚度刻度 $\Delta t$ 的位置处计算/保存修正用数据(步骤S314)。反复进行这些处理,直至对规定数量的运算点全部处理结束(步骤S315)。结束这些处理后,处理器35读取在各个区间中计算出的修正数据并进行结合,并且进行平滑化(步骤S316),再次将该结合后的整体的修正用数据保存到ROM33的第一数据存储区域33B中(步骤S317)。这之后的处理例如与前面所述的图10的步骤S5之后的处理相同。

[0180] 通过如此一边使运算点移动一边计算修正用数据,能够与前面所述同样地取得极其精细的修正用数据。

[0181] 此外,在前面所述的各种变形例中,在图14中,步骤S202在功能上构成了特性取得单元,步骤S203~S205在功能上构成了修正用数据运算单元,步骤S207构成了保存单元的一部分。另外,在图17中,步骤S31以及S32在功能上构成了修正用数据运算单元的一部分,步骤S33在功能上构成了保存单元。进一步,在图19中,步骤S310~S317在功能上构成了修正用数据运算单元的一部分。其中,步骤S317相当于保存单元的一部分。

[0182] 本发明不限于上述实施方式及其变形例的结构,在不偏离本发明宗旨的范围内,能够与以往公知的各种方式组合实施。

[0183] 附图标记说明

[0184] 10:X射线装置

[0185] 21:X射线管

[0186] 24:检测器

[0187] 25:数据收集电路

[0188] 12:数据处理装置(计算机)

[0189] 33:ROM

[0190] 33A:程序存储区域

[0191] 33B:第一数据存储区域(也相当于参照数据存储单元的一部分)

[0192] 33C:第二数据存储区域

[0193] 35:处理器(构成处理单元的主要部分:搭载有CPU)

[0194] 37:输入器

- [0195] 38:显示器(相当于提示单元的一部分)
- [0196] 51:特性取得部(相当于特性取得单元)
- [0197] 52:修正用数据运算部(相当于修正用数据运算单元)
- [0198] 53:修正部(相当于修正单元)
- [0199] P:像素
- [0200] PA:像素区域
- [0201] OB:对象物
- [0202] FM1、FM2:模型

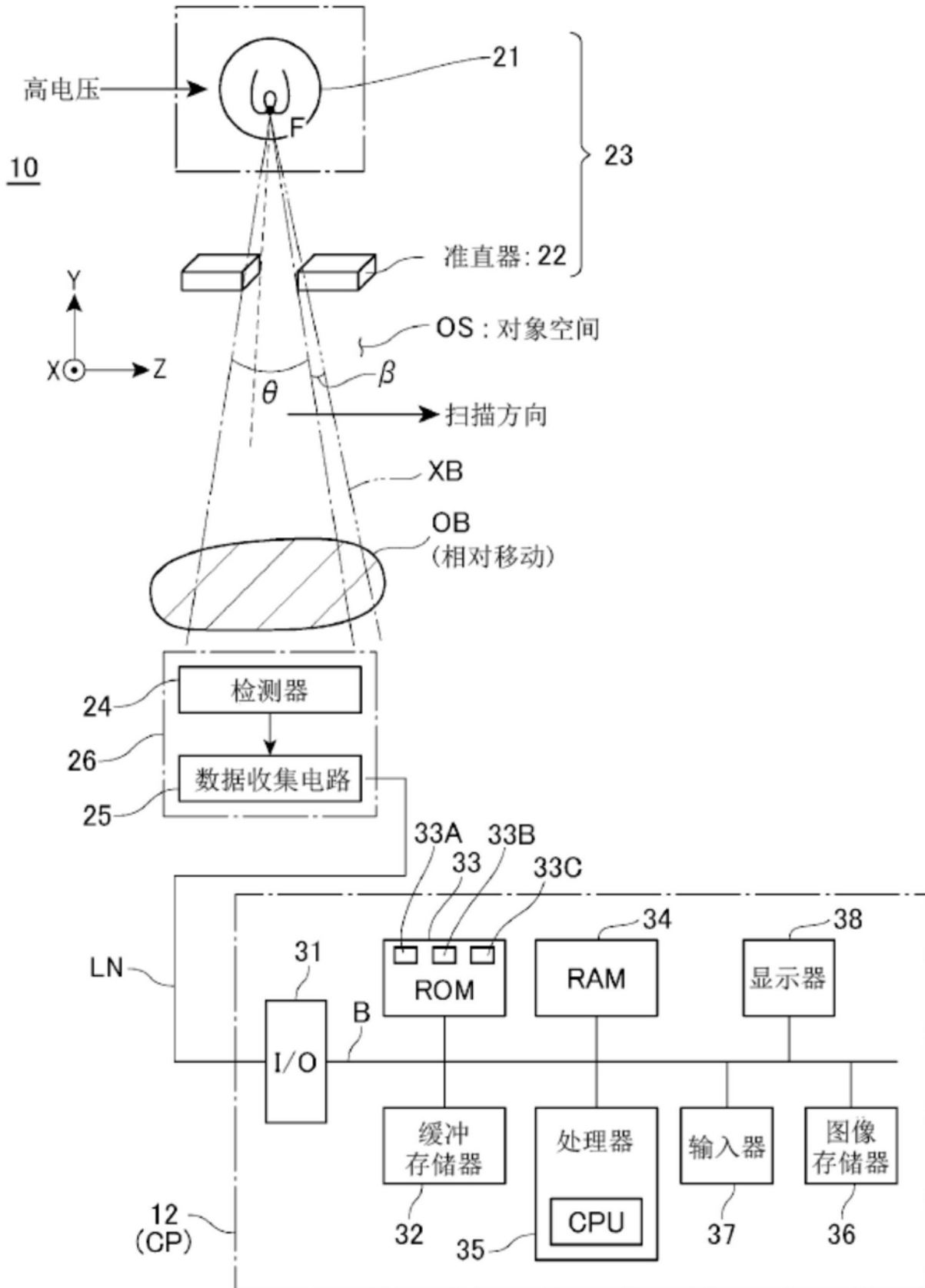


图1



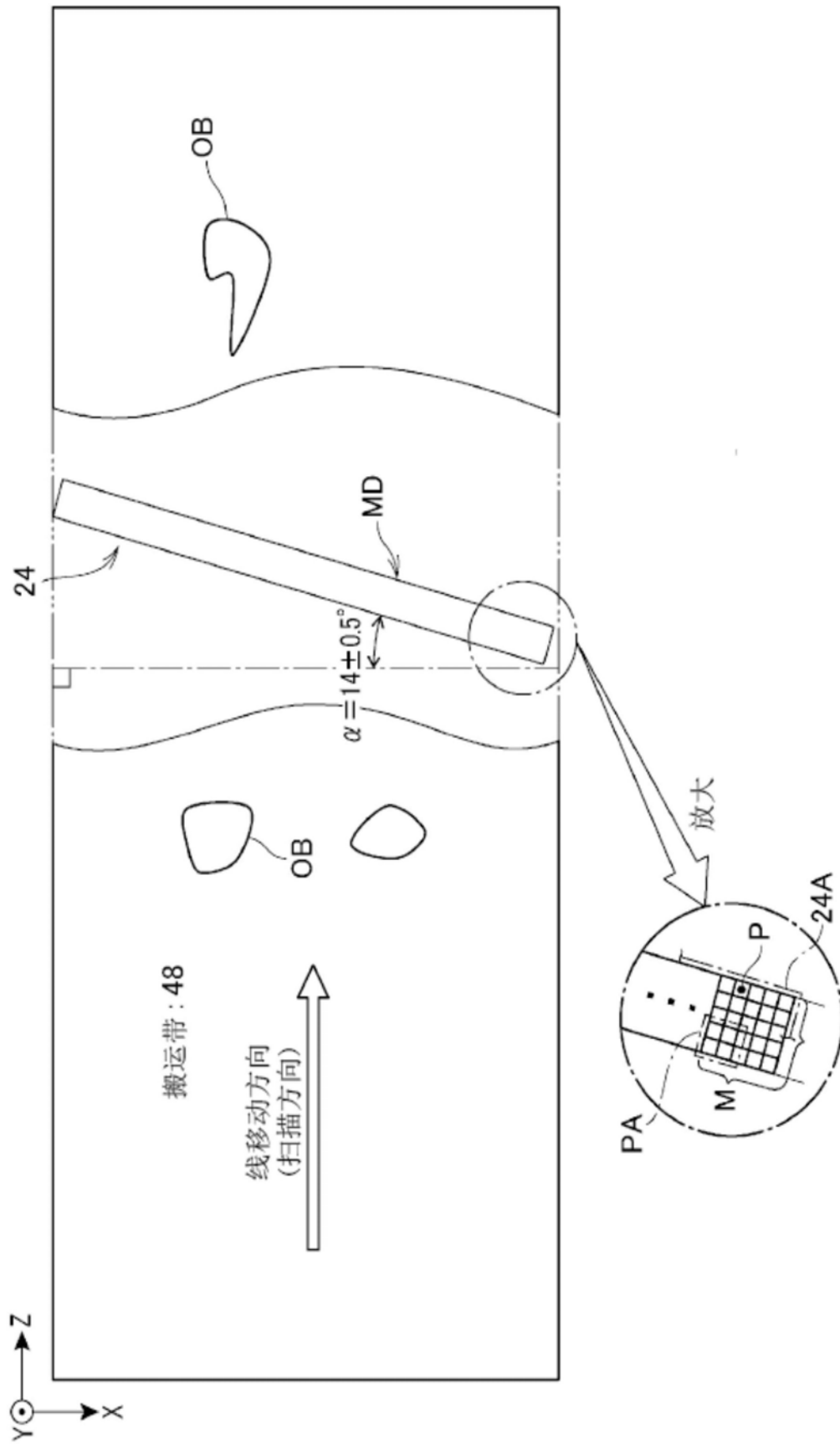


图2

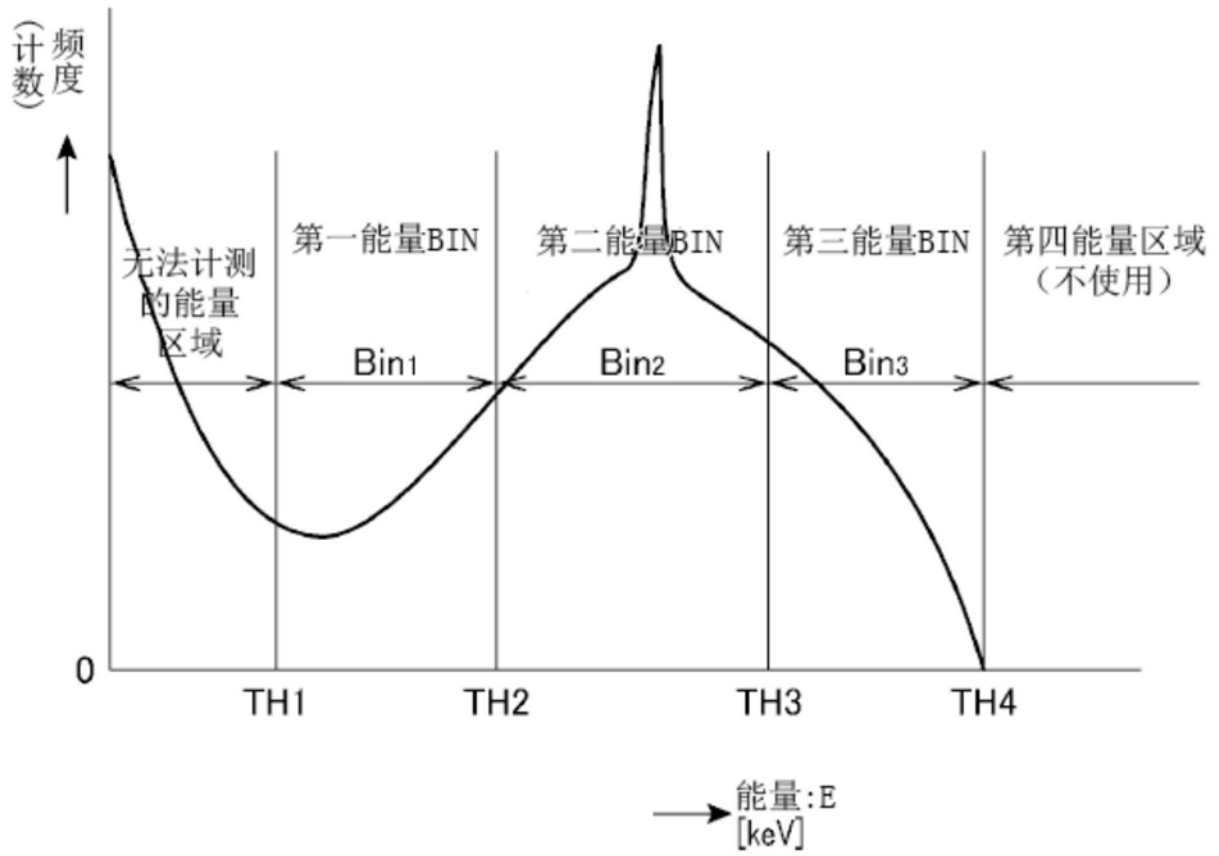


图3

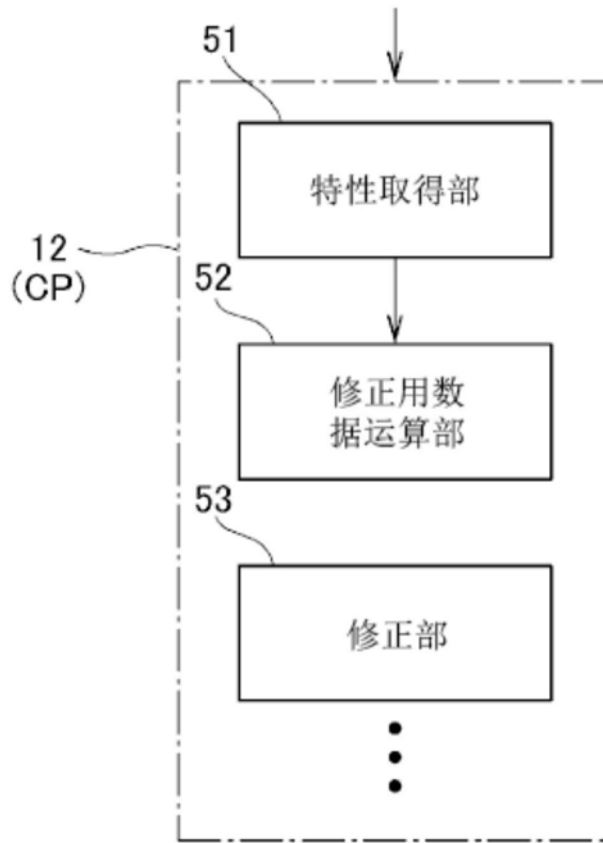


图4

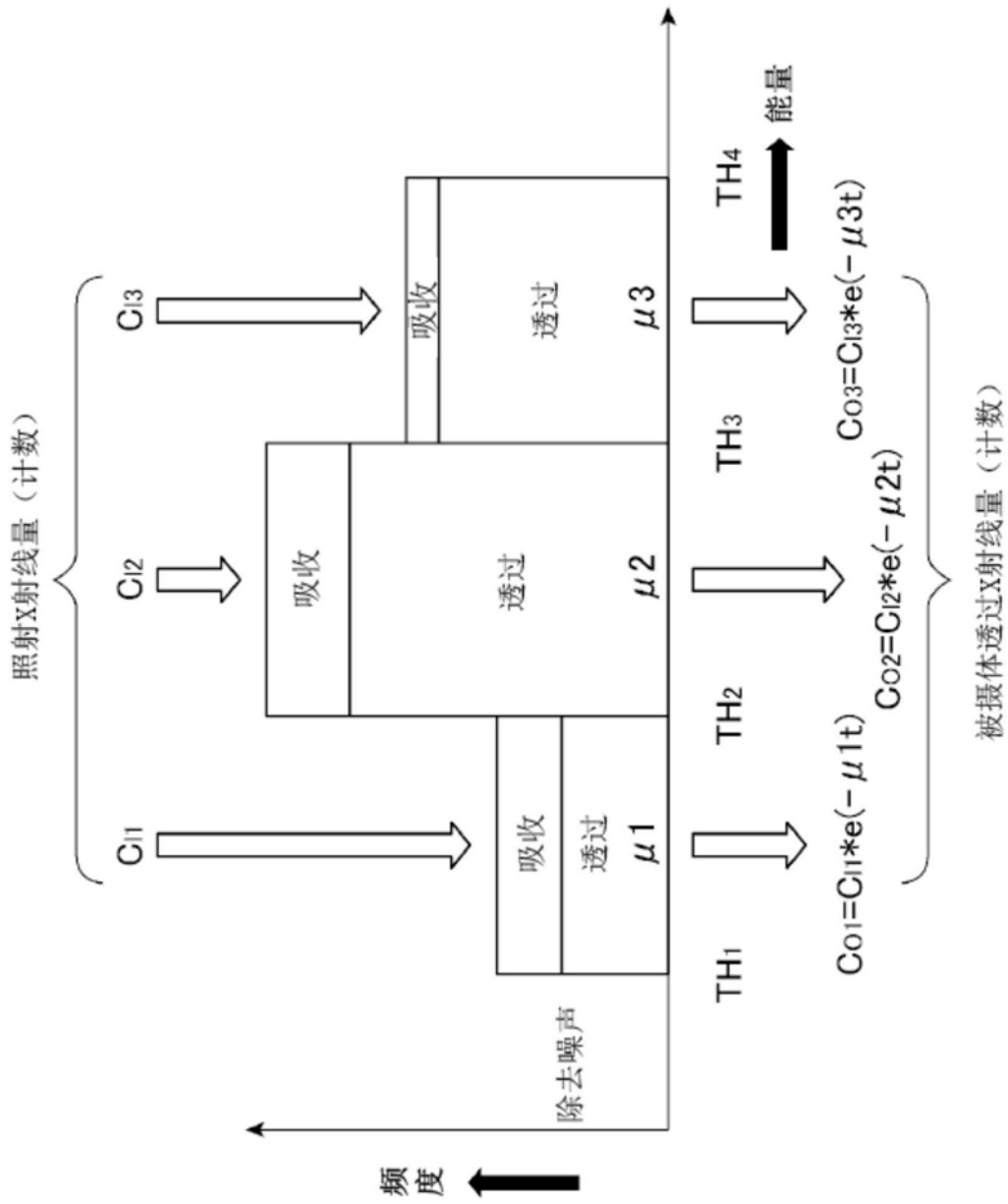


图5

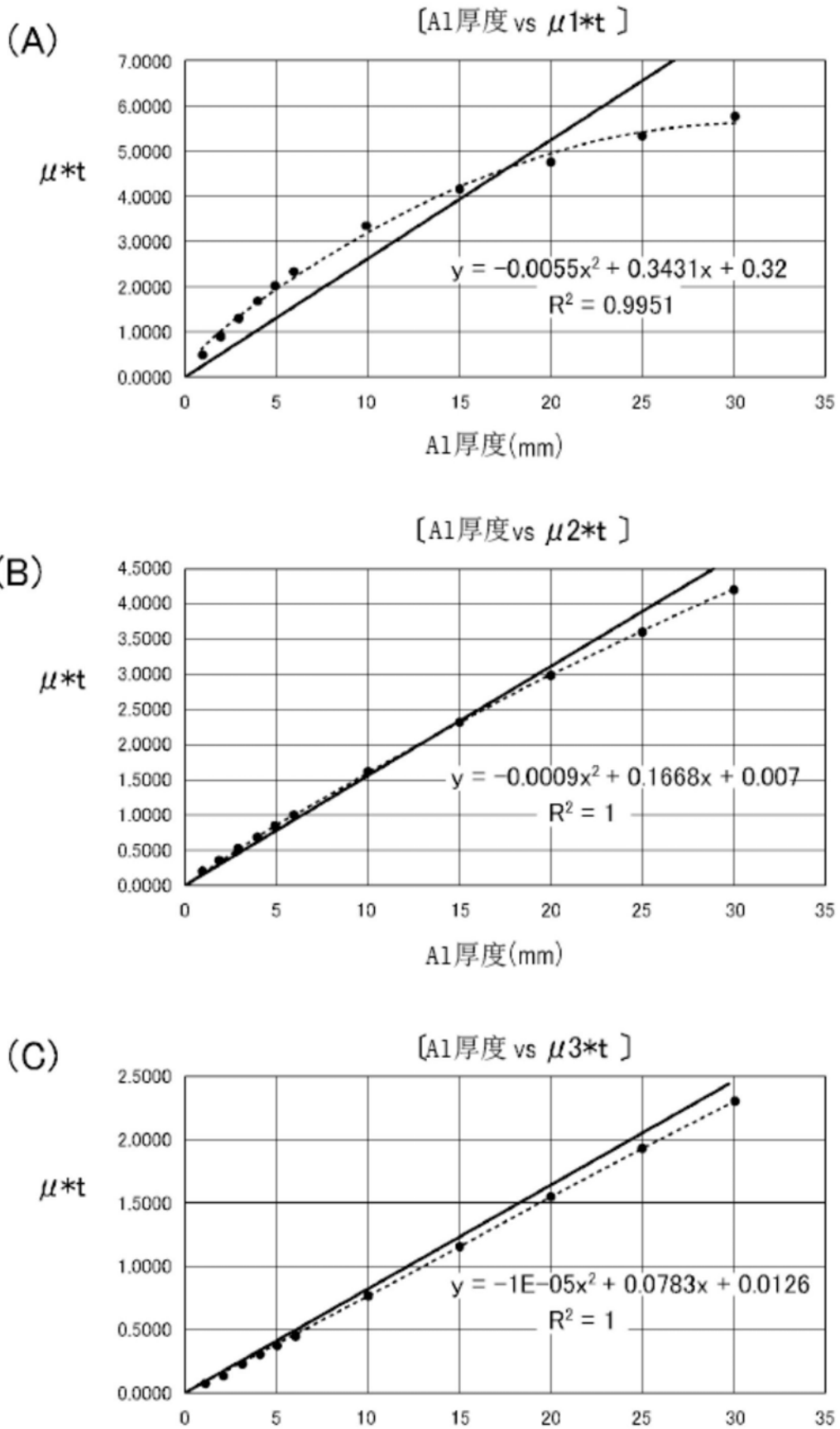


图6

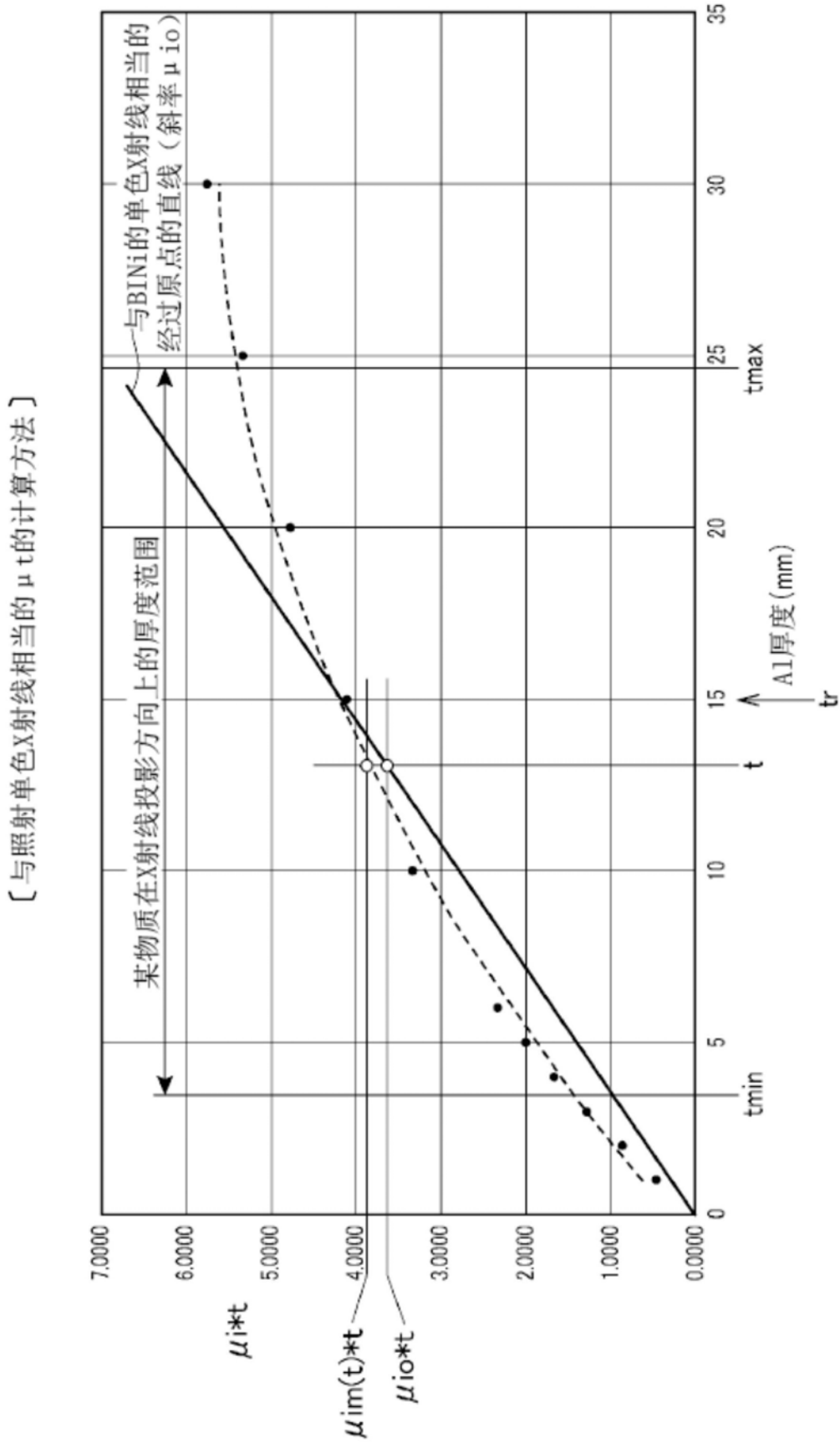


图7

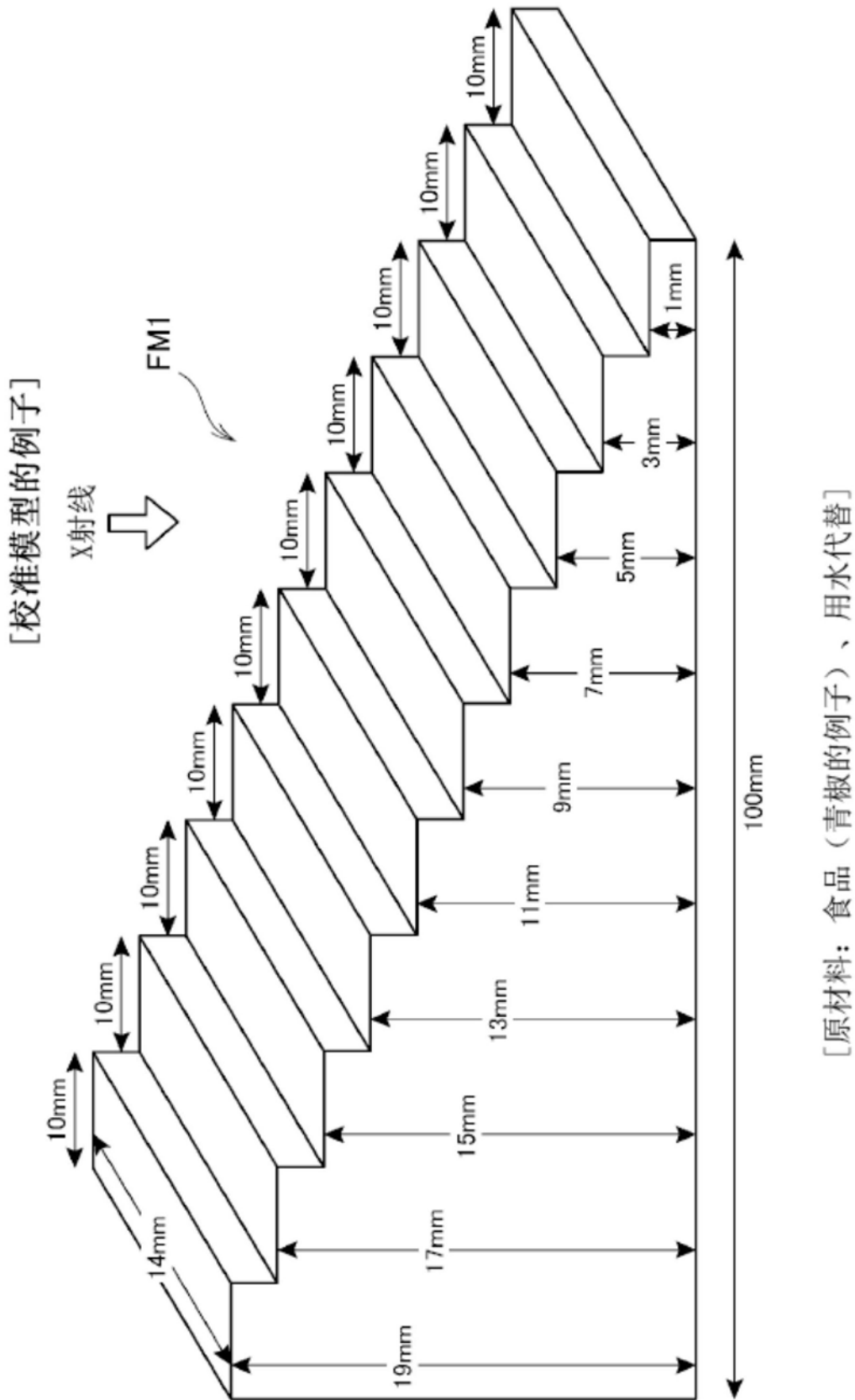


图8

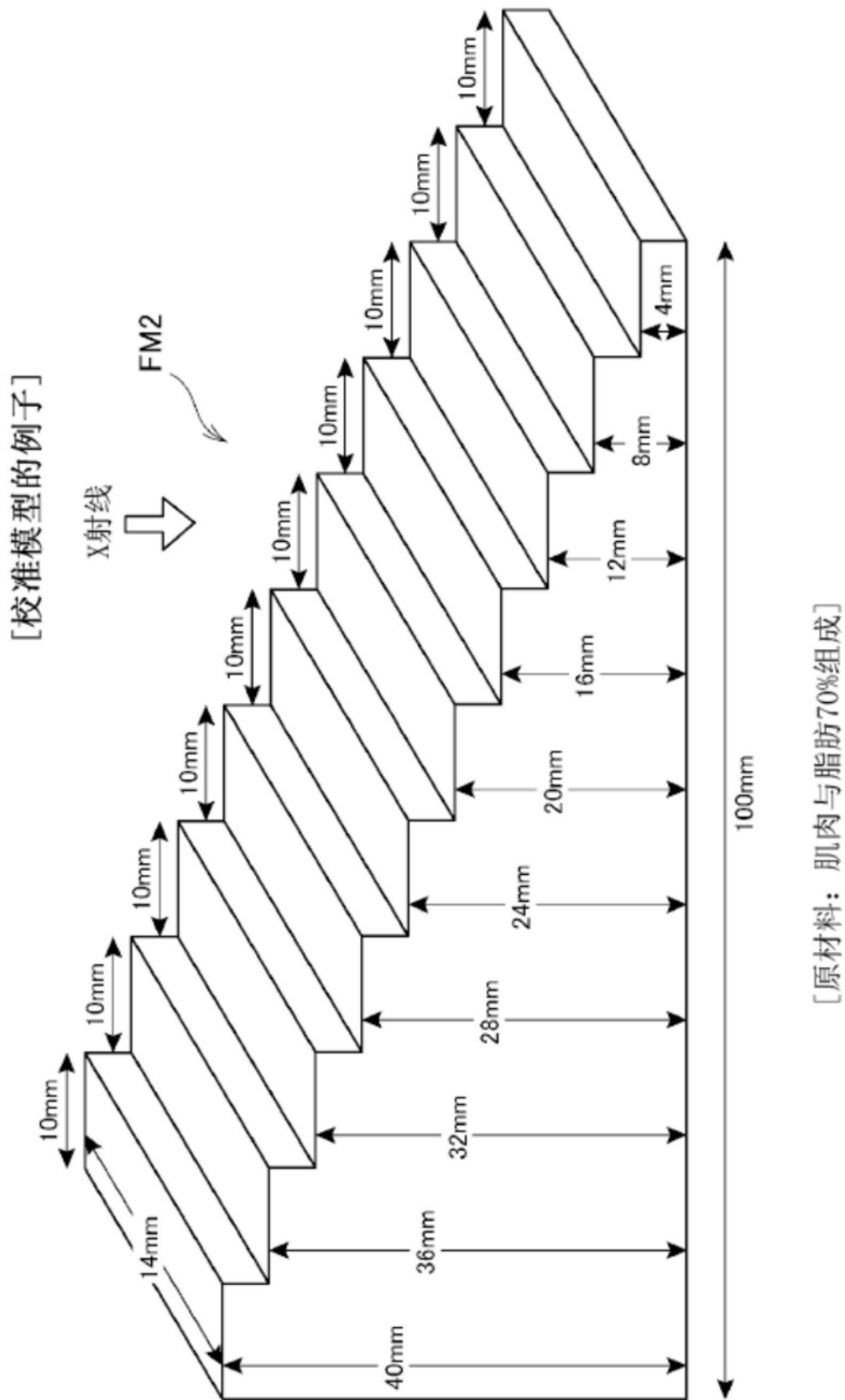


图9



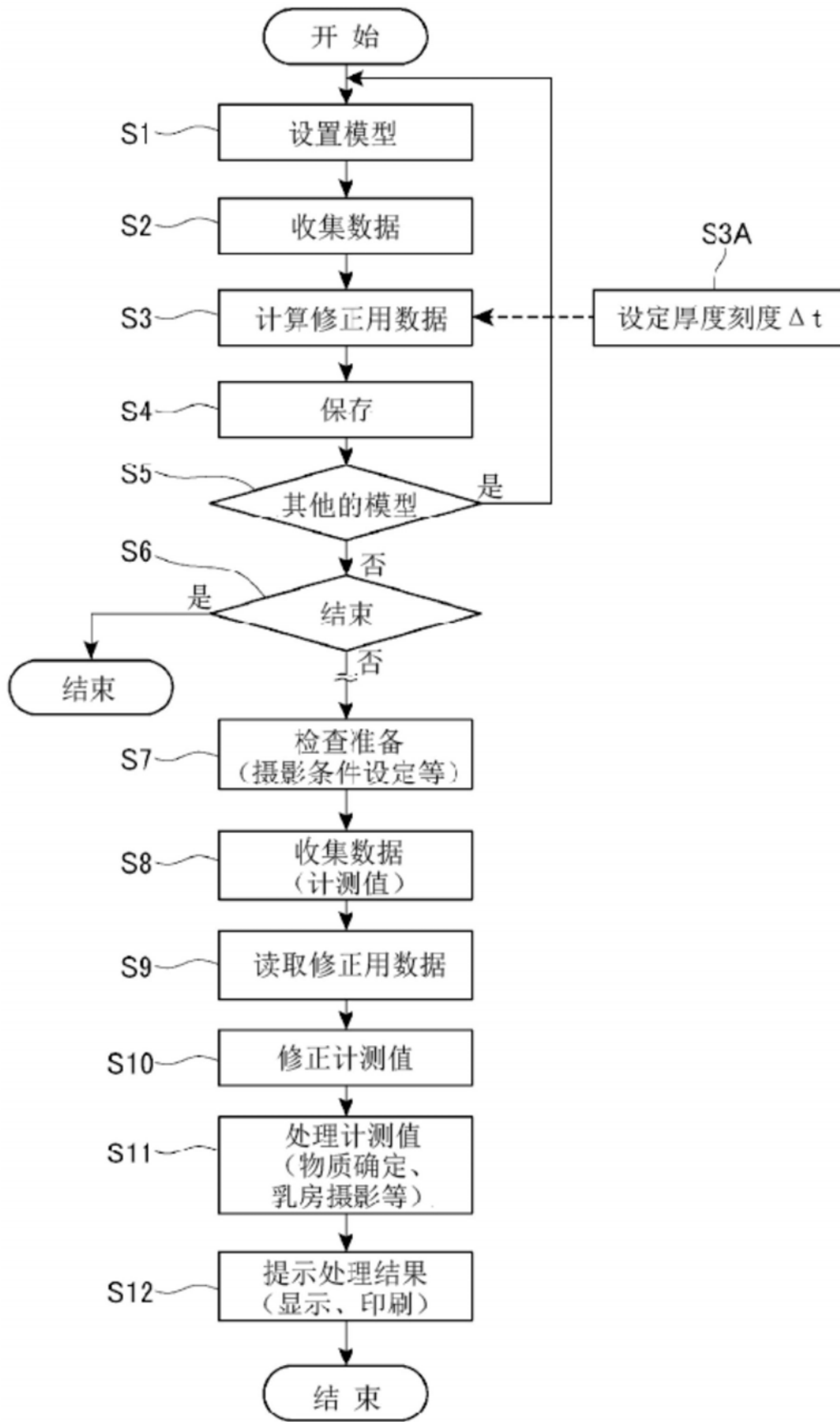


图10

[三维分布图]

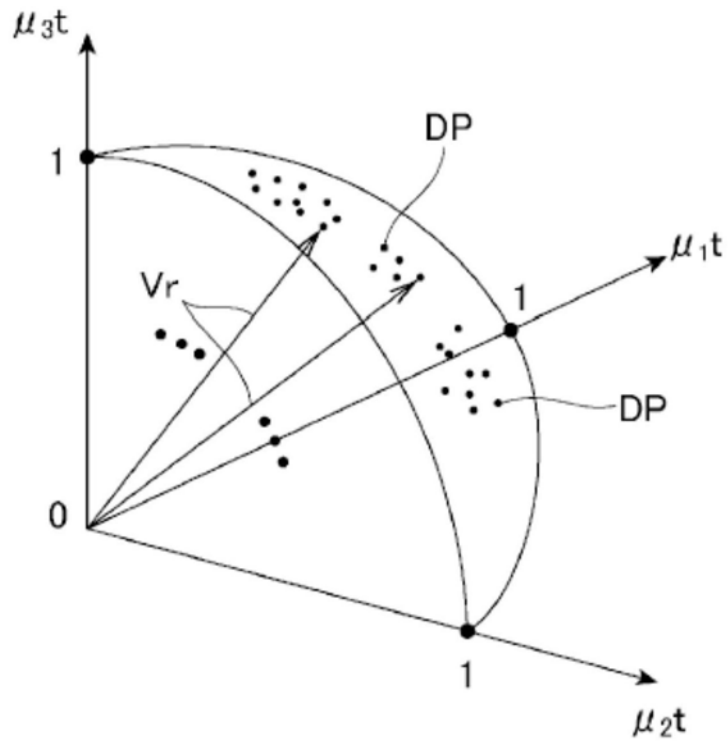


图11

[吸收矢量长图像]

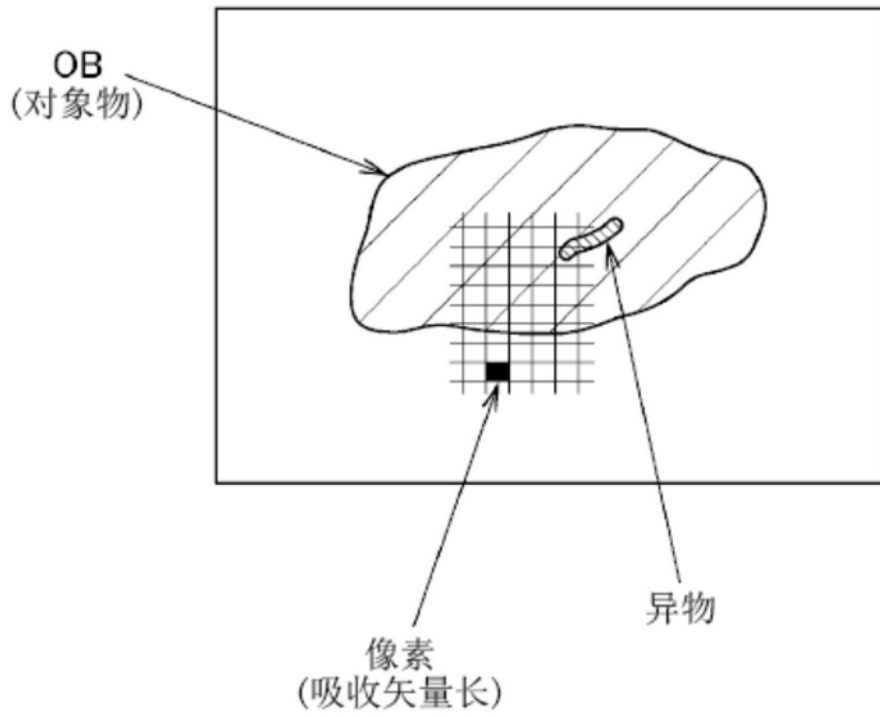


图12

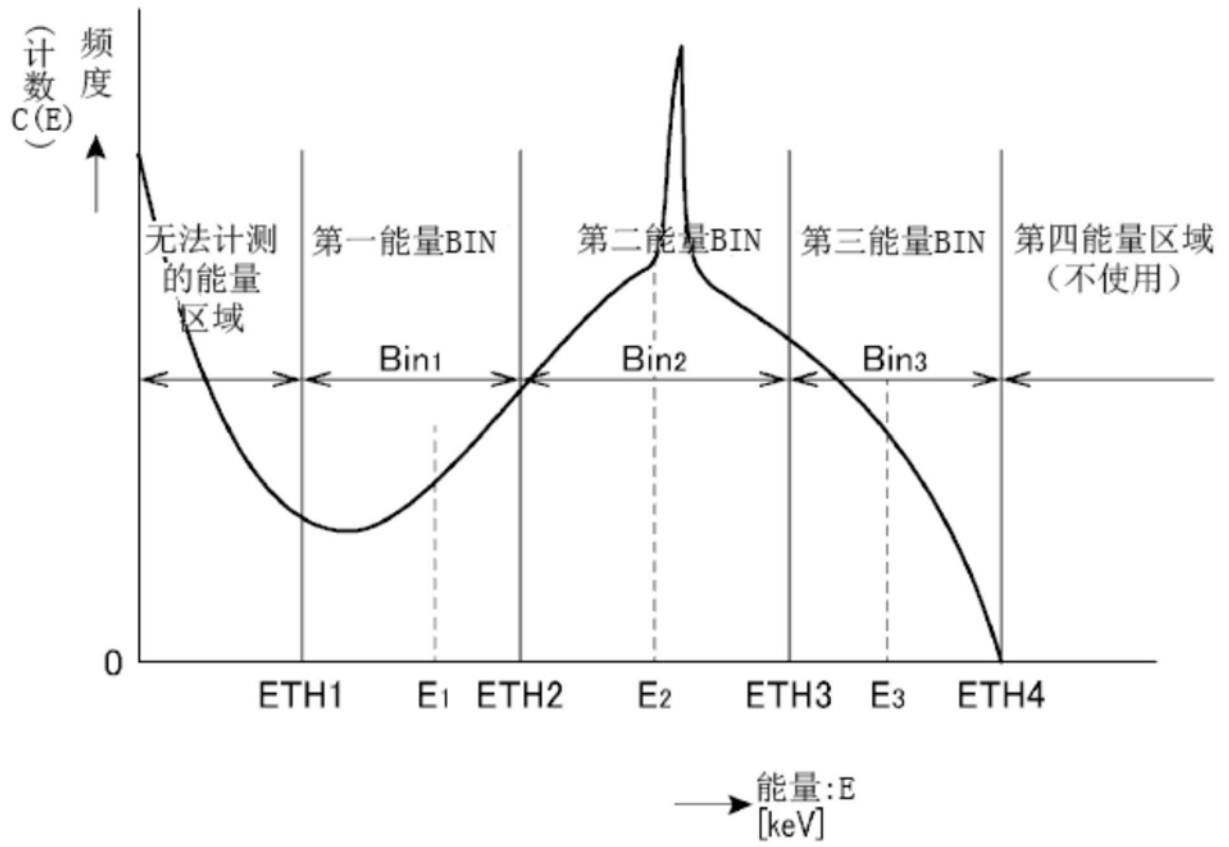


图13

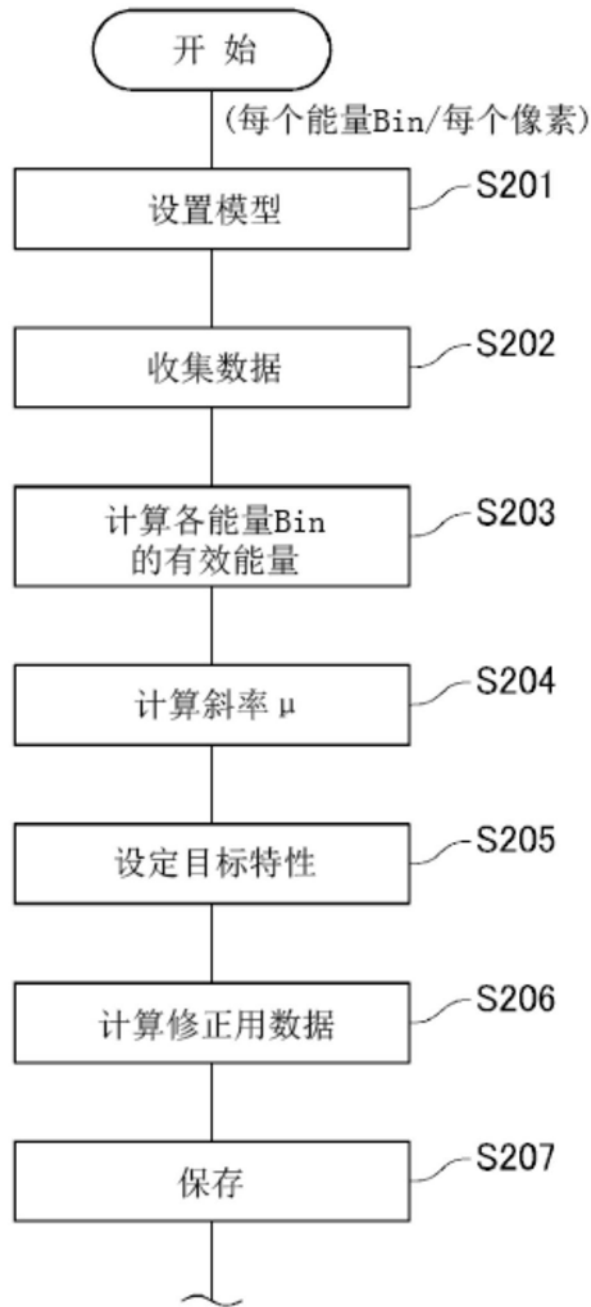


图14

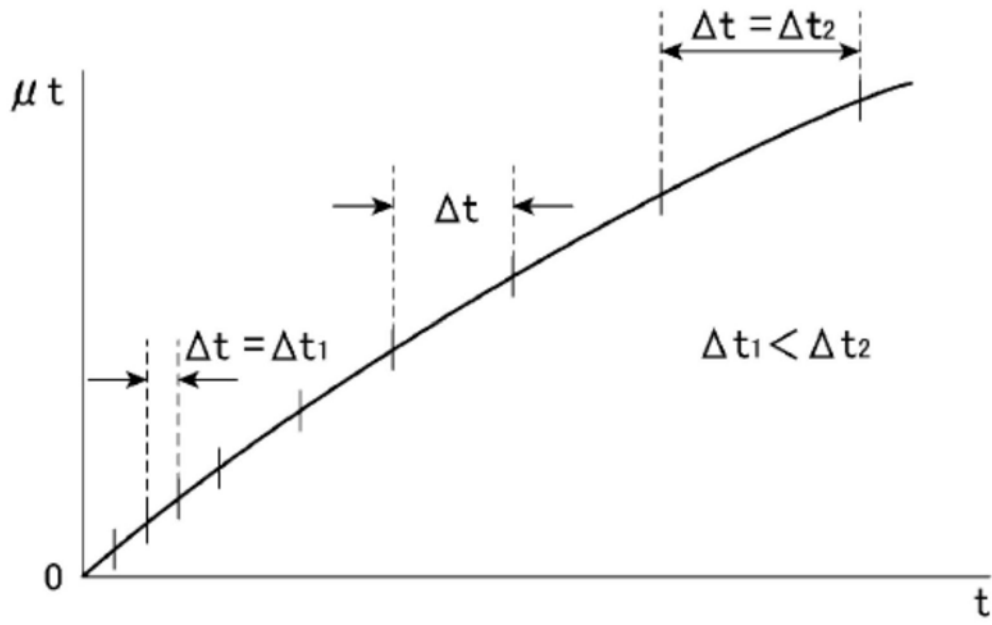


图15

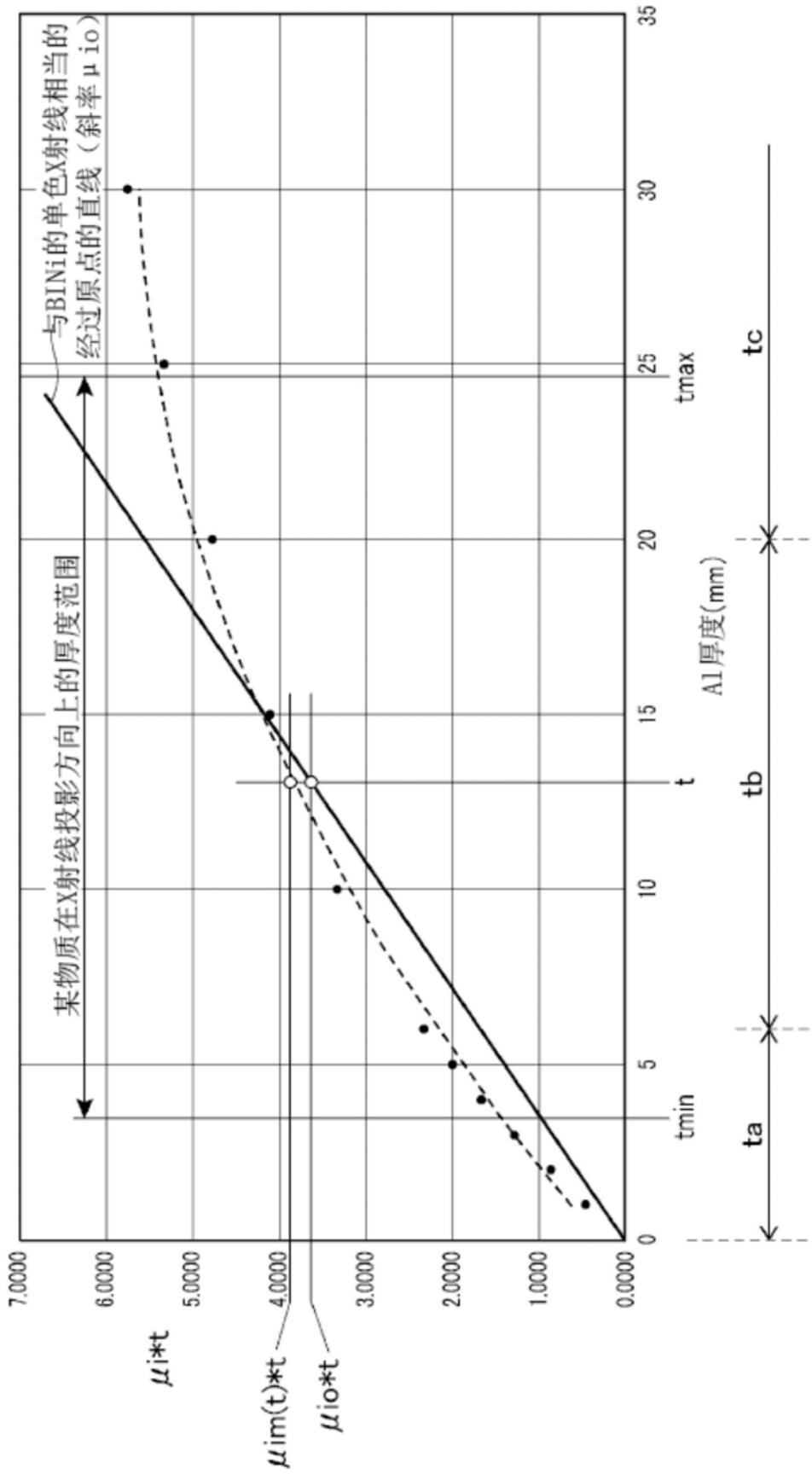


图16

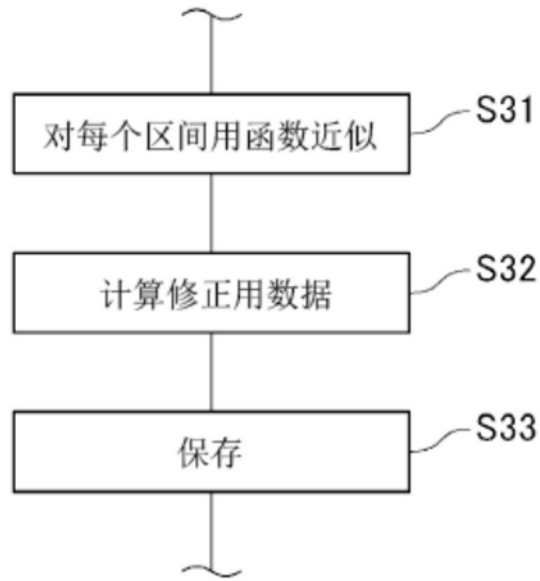


图17

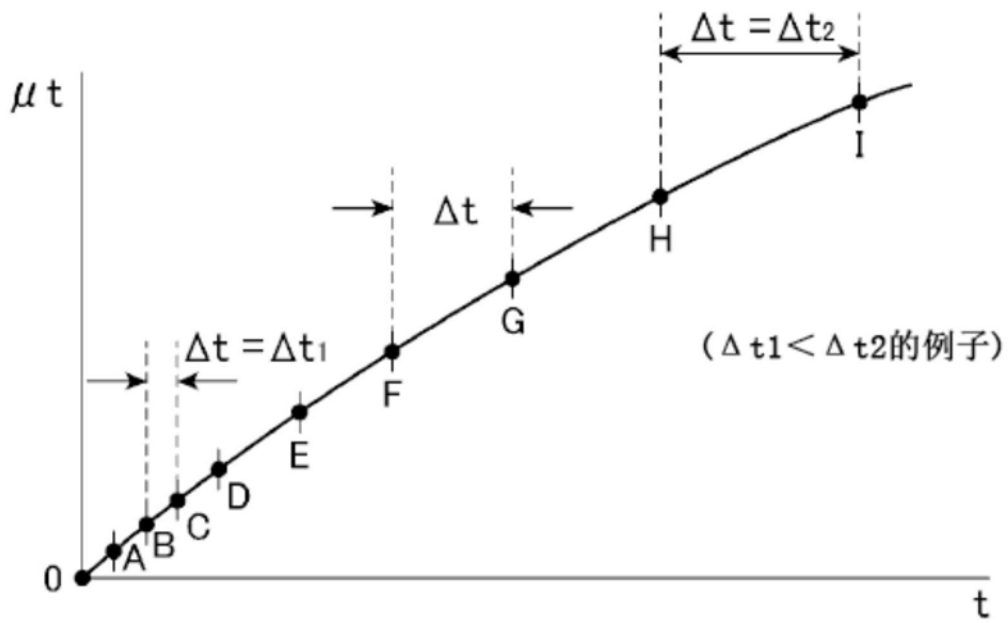


图18



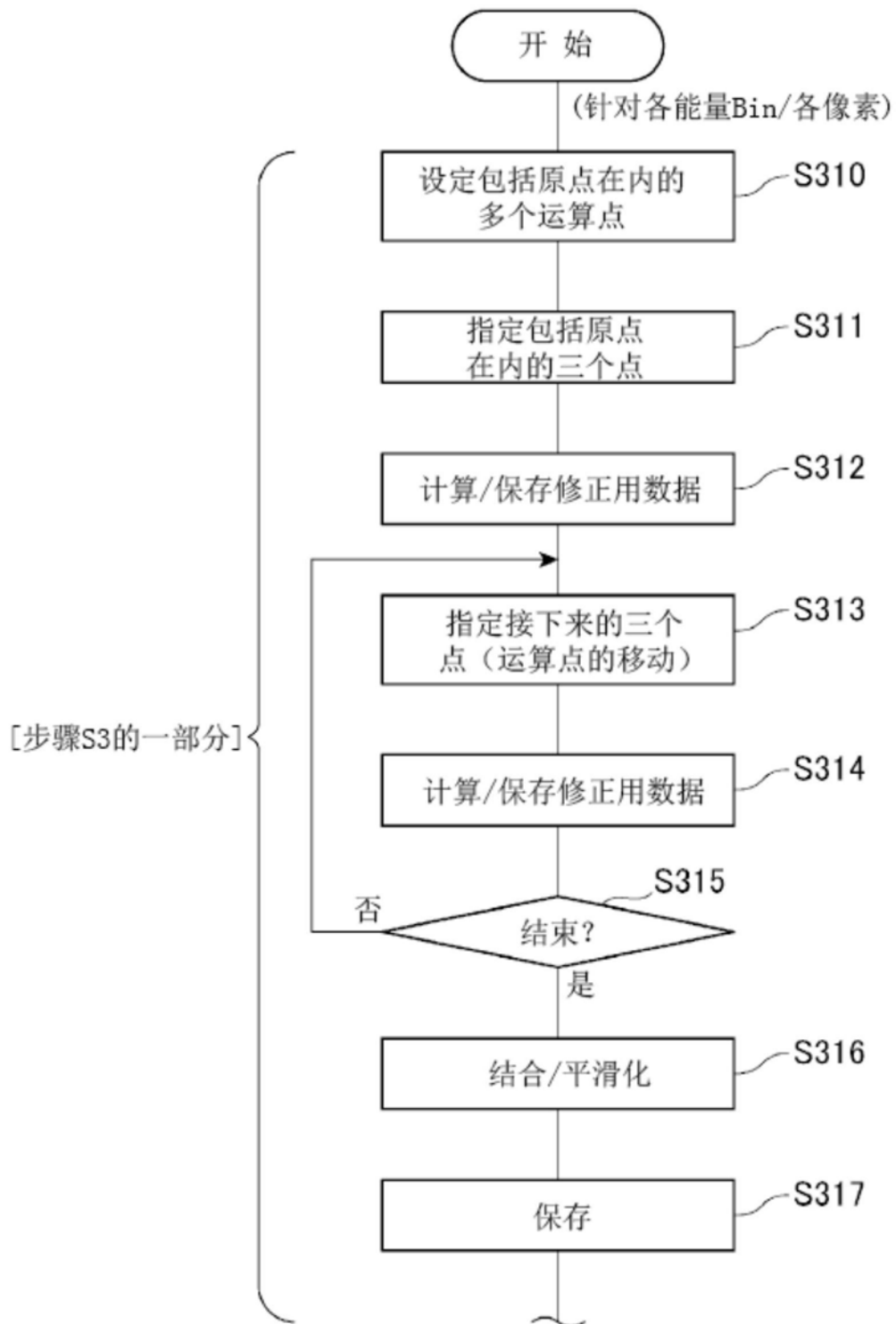


图19