

[19] 中华人民共和国国家知识产权局

[51] Int. Cl.

A61B 1/05 (2006.01)

G02B 23/24 (2006.01)



[12] 发明专利申请公布说明书

[21] 申请号 200810214945.8

[43] 公开日 2009年4月1日

[11] 公开号 CN 101396258A

[22] 申请日 2008.8.29

[21] 申请号 200810214945.8

[30] 优先权

[32] 2007.9.27 [33] JP [31] 2007-251111

[71] 申请人 富士能株式会社

地址 日本国埼玉县

[72] 发明人 宫野俊

[74] 专利代理机构 中科专利商标代理有限责任公司

代理人 李香兰

权利要求书2页 说明书24页 附图15页

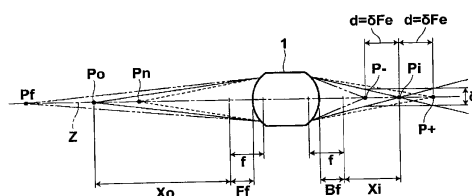
[54] 发明名称

摄像光学系统、内窥镜的摄像装置

[57] 摘要

本发明提供一种摄像光学系统及内窥镜的摄像装置，其中，在摄像光学系统中，不使用调焦机构而即使物体位置变动也不产生像的极端恶化，可获得良好的图像。在内窥镜的插入部的前端部配设的摄像光学系统(1)中，将来自规定的物体位置(Po)的光通过摄像光学系统(1)所成像的位置设为成像位置(Pi)。在远点(Pf)配置物体时的成像位置(Pi)中的、由穿过光瞳直径百分之七十的直径的光线所产生的球差量(Zf)、在最大像高百分之八十的像高中的弧矢方向的场曲量(Sf)、在最大像高百分之八十的像高中的子午方向的场曲量(Tf)，以及在近点(Pn)配置物体时的成像位置(Pi)中的、由穿过光瞳直径百分之七十的直径的光线的球差量(Zn)、在最大像高百分之八十的像高中的弧矢方向的场曲

向的场曲量(Tn)均满足式(1)。 $-1.5 \leq ((Tf + Sf)/2 - Zf) / ((Tn + Sn)/2 - Zn) \leq 0.0 \dots (1)$



1. 一种摄像光学系统，其被配设于内窥镜的插入部的前端部，其特征在于，

在将来自规定的物体位置的光通过上述摄像光学系统所成像的位置设为成像位置，将这时的上述摄像光学系统的景深的远距离侧的界限点设为远点、且将近距离侧的界限点设为近点的情况下，

在上述远点配置物体时的上述成像位置中的、由穿过光瞳直径百分之七十的直径的光线所产生的球差量 Z_f 、在最大像高百分之八十的像高中的弧矢方向的场曲量 S_f 、在最大像高百分之八十的像高中的子午方向的场曲量 T_f ，

在上述近点 P_n 配置物体时的成像位置中的、由穿过光瞳直径百分之七十的直径的光线的球差量 Z_n 、在最大像高百分之八十的像高中的弧矢方向的场曲量 S_n 、在最大像高百分之八十的像高中的子午方向的场曲量 T_n ，

满足以下条件式 (1)：

[数学式 1]

$$-1.5 \leq \frac{(T_f + S_f)/2 - Z_f}{(T_n + S_n)/2 - Z_n} \leq 0.0 \quad (1)。$$

2. 根据权利要求 1 所述的摄像光学系统，其特征在于，不具备对于物体位置的移动进行聚焦的调焦机构。

3. 一种内窥镜的摄像装置，具备权利要求 1 或 2 所述的摄像光学系统、和将该摄像光学系统所形成的像转换为用于由显示装置显示的电信号的摄像元件，其特征在于，

在由上述显示装置观察像时的允许模糊弥散圆径 δ ，是在利用由上述显示装置沿垂直方向所显示的像的上述成像位置的尺寸 V 而被表示的 $2V/240 \leq \delta \leq 2V/160$ 的范围，

上述摄像光学系统的像侧的焦深 d ，由上述允许模糊弥散圆径 δ 和有效 F 值 F_e 定义为 $d = \delta \times F_e$ 的情况下，

上述远点是自上述成像位置沿上述摄像光学系统的方向隔离上述焦深 d 的点的共轭点，

上述近点是自上述成像位置逆着上述摄像光学系统的方向隔离上述焦深 d 的点的共轭点。

摄像光学系统、内窥镜的摄像装置

技术领域

本发明涉及一种摄像光学系统和内窥镜的摄像装置，更详细地涉及一种在内窥镜的插入部的前端部配设的摄像光学系统、和具备该摄像光学系统及将该摄像光学系统所形成的像转换为用于由显示装置显示的电信号的摄像元件的内窥镜的摄像装置。

背景技术

以往，在医疗现场等进行患者体内的观察或治疗等时使用内窥镜。在内窥镜的插入部的前端部配设有拍摄体腔内的物镜等摄像光学系统。根据近几年的内窥镜外科手术的普及，此摄像光学系统所形成的像在电视监控器等的显示装置显示，且做手术的人在此显示装置的画面观察图像是一般性的。为此，为使做手术的人易于观察，优选场曲小的影像，提出了良好地补正了场曲的内窥镜用物镜。

另一方面，体腔内的观察对象大多为突起状或管空状，优选对这样的观察对象也可获得良好的像。专利文献1记载了由3片透镜群而成，通过使至少1片透镜群移动在保持大致固定的倍率的状态下，根据观察对象的形状可发生使画面周边部的画质良好的场曲的内窥镜用物镜。

【专利文献1】特开2001-194580号公报

然而，以往的良好地补正了场曲的一般的光学系统，在设定规定的物体位置和对应于其的成像位置时，为了使画面中心部的优良像位置和画面周边部的优良像位置一致，对场曲量进行补正而设计。这样的设计没有考虑到根据物体位置变动的场曲量的变动。实际上，因物体位置变动时，场曲也变动，所以，在设计时所设定的成像位置中，即使场曲被良好地补正，如在不同于此设计条件的位置有物体时，可能最合适的优良像位置会在画面中心部和画面周边部有所不同。即，在以往的补正了场曲的一般的光学系统中，根据物体位置的变动，恐怕会在画面周边部产生像的极端恶化。

需要说明的是，在相机等的摄像装置中，虽具备有调整根据物体位置的变动的成像位置的变动的焦点调整机构，但多数内窥镜用摄像装置不具备这样的焦点调整机构。在内窥镜用摄像装置配设焦点调整机构时，因构成复杂的同时需要空间，所以，恐怕会导致前端部的大径化。

发明内容

本发明是鉴于上述情况而提出的，其目的在于，提供一种不使用焦点调整机构而即使物体位置变动也不产生像的极端恶化，可获得良好的图像的内窥镜用摄像光学系统及具备该摄像光学系统的内窥镜的摄像装置。

本发明的摄像光学系统配设于内窥镜的插入部的前端部，其特征在于，在将来自规定的物体位置的光通过上述摄像光学系统成像的位置设为成像位置，将这时的上述摄像光学系统的景深的远距离侧的限界点设为远点、且将近距离侧的限界点设为近点的情况下，在上述远点配置物体时的上述成像位置中的、由穿过光瞳直径的 7 成径的光线所产生的球差量 Z_f 、在最大像高的 8 成像高中的弧矢方向的场曲量 S_f 、在最大像高的 8 成像高中的子午方向的场曲量 T_f ，在上述近点配置上述物体时的上述成像位置中的、由穿过光瞳直径的 7 成径的光线的球差量 Z_n 、在最大像高的 8 成像高中的弧矢方向的场曲量 S_n 、在最大像高的 8 成像高中的子午方向的场曲量 T_n 均满足下述条件式 (1)。

[数学式 1]

$$-1.5 \leq \frac{(T_f + S_f)/2 - Z_f}{(T_n + S_n)/2 - Z_n} \leq 0.0 \quad (1)$$

上述本发明的摄像光学系统可构成为不具备对于物体位置的移动进行聚焦的调焦机构。

另外，本发明的内窥镜的摄像装置，具备上述本发明的摄像光学系统、和将该摄像光学系统所形成的像转换为用于由显示装置显示的电信号的摄像元件，其特征在于，在由上述显示装置观察像时的允许模糊弥散圆 (circle of confusion) 径 δ ，是在利用由上述显示装置沿垂直方向显示的像的上述成像位置的尺寸 V 而被表示的 $2V/240 \leq \delta \leq 2V/160$ 的范围，上述摄像光学系统的像侧的焦深 d ，由上述允许模糊弥散圆径 δ 和有效 F 值 F_e 定义为 $d = \delta \times F_e$ 的情况下，上述远点是自上述成像位置沿上述摄像光学系统的方向隔离上述焦深

d 的点的共轭点；上述近点是自上述成像位置逆着上述摄像光学系统的方向隔离上述焦深 d 的点的共轭点。

需要说明的是，所谓景深是在对规定的位置的物体聚焦时在视觉上对其物体对焦的范围，即，是可视为能认同清晰的像的范围，本发明将此作为观察距离的范围。

另外，上述条件式 (1) 的 $(T_f+S_f)/2$ 、 $(T_n+S_n)/2$ 意味着子午方向和弧矢方向的场曲量的平均值。并且，此处为良好地保持画面中心部和画面周边部的图像的平衡，采用了在 8 成像高的场曲量。

另外，内窥镜的摄像光学系统的球差具有口径增加的同时在负侧 (underside) 单调增加或在正侧 (overside) 单调增加的倾向，其优良像位置根据通过光瞳径的大致 7 成 (球带 (zonal)) 附近的径的光线，所以，作为代表值采用了球带像差量。

本发明的摄像光学系统通过适当地分配在观察距离的范围内的场曲的变动，不使用焦点调整机构就使观察距离的范围的近点侧和远点侧中的画面周边部不引起像的极端的恶化。

边参照图 1~图 3，边说明本发明的构思。首先，边参照图 1，边说明求得景深的方法。图 1 的摄像光学系统 1 是概念性图示。如图 1 所示，在光轴 Z 上设定规定的物体位置 P_o ，来自此物体位置 P_o 的光 (用实线表示) 通过此摄像光学系统 1 成像的位置设为成像位置 P_i 。

来自物体位置 P_o 的光虽在成像位置 P_i 聚光为大致一点，但伴随从成像位置 P_i 隔离而变大且变模糊。这时，将认定像为清晰的界限中的光的扩散度作为允许模糊弥散圆径 δ ；将从成像位置 P_i 至光的扩散度成为允许模糊弥散圆径 δ 的点 (图 1 的 P_+ 、 P_-) 的范围作为像侧的焦深 d。在此，点 P_- 是从成像位置 P_i 沿摄像光学系统 1 的方向隔离焦深 d 的点；点 P_+ 是从成像位置 P_i 逆着摄像光学系统 1 的方向隔离焦深 d 的点。另外，焦深 d 通过来自物体位置 P_o 的光在成像位置 P_i 成像时的有效 F 值 F_e 和上述的允许模糊弥散圆径 δ ，定义为 $d = \delta \times F_e$ 。

焦深内是像空间中的像被认定为清晰的范围，所以，与从点 P_- 至点 P_+ 的范围有共轭的关系的物体侧空间的范围成为景深。现在，如图 1 所示，将与点 P_- 有光学性共轭关系的共轭点作为点 P_f 、将与点 P_+ 有光学性共轭关系的共轭

点作为 P_n 。因此，从点 P_f 至点 P_n 的范围成为景深，点 P_f 成为远距离侧的限界点的远点，点 P_n 成为近距离侧的限界点的近点。

其次，考虑在远点及近点配置物体时的成像位置 P_i 的场曲。图 2 是内窥镜的摄像光学系统的一例的像差图。图 2 的上段自左依次表示在上述设定的物体位置 P_o 配置物体时的成像位置 P_i 的球差图、像散（弧矢方向的场曲和子午方向的场曲）图、及通过纵轴最大值被正规化后两者（球差图和像散图）重叠的图。

同样的，图 2 中段自左依次表示在近点配置物体时的成像位置 P_i 的球差图、像散图及通过纵轴最大值被正规化后两者重叠的图。另外，图 2 下段自左依次表示在远点配置物体时的成像位置 P_i 的球差图、像散图及通过纵轴最大值被正规化后两者重叠的图。在图 2 的两者重叠的图中，在相当于纵轴的最大值的 7 成及 8 成的位置分别附上 0.7 及 0.8。

一般在内窥镜用物镜，关于设计时被设定的物体距离即使良好地补正了场曲、像散，但如图 2 所示，通过在观察距离的范围内的物体距离的变动，球差的变动虽小，却具有在近点侧像面向负侧、在远点向正侧变化的倾向。

因此，本发明通过构成为由在近点及远点的球差量和场曲量而成的上述项满足条件时（1），适当地分配在观察距离的范围内的像面的变动，将近点侧观察和远点侧观察的像面的变动量设为大致相同的程度，即使使物体位置变动也不产生像的极端的恶化。需要说明的是，将像面的变动量在近点侧、远点侧相同的分配时，条件式（1）项的值虽成为-1，但可允许至-1.5 左右。

进一步参加内窥镜的使用状况时，如图 3 所示，在近点侧的观察中，可设想内窥镜的插入部 104 的前端与体内的内壁 3 倾斜相对，所以，对于在近点侧配置物体时的像面向负侧变化而允许范围变大，因此，在远点侧以不向正侧变化的 0.0 作为上限。

需要说明的是，上述所用的允许模糊弥散圆径 δ 表示图像被认定为清晰的模糊限度的大小，但在本发明中，按以下的想法决定了其范围。因人眼的分解能力在以视角而言时可以说约为 $1'$ ，所以，判断为不模糊的限界的解像力为它的 4 倍即约 $4'$ 。另外，近些年的内窥镜的像的观察一般不是直视而是观察电视监控器等的显示装置所显示的图像，所以，以这样的显示装置观察为前提。

用户从距离显示装置 1.5m 观察图像时，判断为不模糊的显示画面上的限界的允许模糊量 δ_a 成为

$$\delta_a = 1500\text{mm} \times \tan(4/60) \approx 1.75\text{mm}。$$

现在，从广泛使用的显示装置将其显示区域的垂直方向的尺寸设为约 210mm 时，上述显示画面上的允许模糊量 δ_a 的值相当于显示区域的垂直方向的尺寸的约 0.0083 ($\approx 1.75/210$)。

接下来，从该显示画面上的允许模糊量 δ_a 决定在摄像光学系统 1 的成像位置 P_i 的像面上的允许模糊量，即，决定允许模糊弥散圆径 δ 。将用显示装置沿垂直方向显示的像的成像位置 P_i 的尺寸设为 V 时，允许模糊弥散圆径 δ 成为

$$\delta = V \times (1.75/210) \approx V \times 0.0083。$$

另外，因 $210 \div 1.75 = 120$ ，所以，允许模糊弥散圆径 δ 表示如下。

$$\delta = V/120。$$

即，这时的摄像光学系统的解像力为 60 根/mm，以电视监控器等的显示装置的解像度表述时，成为 120TV 根，因影像信号的频率 1MHz 相当于 80TV 根，所以，以下，以 1MHz 单位考虑，上述允许模糊弥散圆径 δ 成为

$$\delta = (2 \times V) / 240，相当于由 3\text{MHz} (240\text{TV 根}) 除 2V 的值。$$

在实际使用中，设想从显示装置进一步离开的距离观察。这时，显示画面上的允许模糊量 δ_a 的值大于上述值。由此，关于从进一步离开的距离观察时，设为从上述的 3MHz 更低的 2MHz，由 2MHz (160TV 根) 除 2V，使允许模糊弥散圆径 δ 成为如下所述。

$$\begin{aligned} \delta &= (2 \times V) / 160 \\ &= V \times 0.0125 \end{aligned}$$

如此，考虑内窥镜的实际使用状况时，关于允许模糊弥散圆径 δ 在 $2V/240 \leq \delta \leq 2V/160$ 的范围时，只要考虑像面的变动量即可。

需要说明的是，在上述说明中，从一般的内窥镜的使用状况设想电视监控器等的显示装置，举例说明从距离约 1.5m 及更离开观察的情况。根据显示装置的种类或观察状况景深有所不同，但如使用如上所述的本发明的构思时，根据各情况，可计算出近点、远点，即使在观察距离的范围内物体位置有所变动，也可不产生像的极端恶化获得良好的图像。

根据本发明的摄像光学系统，构成为关于在景深的远点及近点配置物体时，满足条件式(1)，所以，可适当地分配观察距离范围内的像面的变动，可将近点侧观察和远点侧观察中的像面的变动量设为大致相同的程度。由此，即使观察距离范围内物体位置有所变动，也可不使用对于物体位置的移动进行聚焦的焦点调整机构，获得不产生像的极端的恶化的良好的图像。

另外，本发明的内窥镜的摄像装置具备本发明的摄像光学系统，因设想用一般的监控器装置等观察像的情况，决定了允许模糊弥散圆径的范围，所以，即使物体位置有所变动，也不产生像的极端的恶化，可观察良好的图像。

附图说明

图1是对本发明的概念进行说明的图。

图2是内窥镜的摄像光学系统的一例的像差图。

图3是说明在近点进行观察的图

图4是本发明的一实施方式所涉及的内窥镜系统的概略的整体构成图。

图5是本发明的一实施方式所涉及的内窥镜的插入部的前端部的概略剖面图。

图6是表示本发明的实施例1所涉及的摄像光学系统的透镜构成的图。

图7是表示本发明的实施例2所涉及的摄像光学系统的透镜构成的图。

图8是表示本发明的实施例3所涉及的摄像光学系统的透镜构成的图。

图9是表示本发明的实施例4所涉及的摄像光学系统的透镜构成的图。

图10是表示本发明的实施例5所涉及的摄像光学系统的透镜构成的图。

图11是表示本发明的实施例6所涉及的摄像光学系统的透镜构成的图。

图12是表示本发明的实施例7所涉及的摄像光学系统的透镜构成的图。

图13是本发明的实施例1所涉及的摄像光学系统的各像差图。

图14是本发明的实施例2所涉及的摄像光学系统的各像差图。

图15是本发明的实施例3所涉及的摄像光学系统的各像差图。

图16是本发明的实施例4所涉及的摄像光学系统的各像差图。

图17是本发明的实施例5所涉及的摄像光学系统的各像差图。

图18是本发明的实施例6所涉及的摄像光学系统的各像差图。

图19是本发明的实施例7所涉及的摄像光学系统的各像差图。

图中：1-摄像光学系统，2-摄像光学系统，3-内壁，7-光路转换棱镜，8-固体摄像元件，9-处置工具插通通道，10-摄像装置，100-内窥镜，102-操作部，104-插入部，110-前端部，120-处理器，122-显示装置， d -焦深， D_i -第 i 面和第 $i+1$ 面的光轴上的面间隔， L_1 、 L_2 、 L_3 、 L_4 、 L_5 、 L_6 -透镜， P_f -远点， P_i -成像位置， P_n -近点， P_o -物体位置， R_i -第 i 面的曲率半径， S_t -光阑， Z -光轴。

具体实施方式

以下，参照附图详细说明本发明的实施方式。图 4 是表示本发明的实施方式所涉及的摄像光学系统及适用摄像装置的内窥镜系统的一例的概略整体构成图。

图 4 所示的内窥镜系统粗略而言由内窥镜 100、与内窥镜 100 连接而进行光源的控制或图像处理等的各种处理的处理器 120、将内窥镜 100 的摄像光学系统 2 所摄像的像进行显示的显示装置 122 而成。

内窥镜 100 主要具备操作部 102、连接于操作部 102 前端侧的插入部 104、从操作部 102 的基端侧引出与处理器 120 连接的通用线 106。

插入部 104 插入患者的体内，其大半部为沿插入路径向任意方向弯曲的柔性部 107，依次在该柔性部 107 的前端连接有弯曲部 108、在该弯曲部 108 的前端连接有前端部 110。前端部 110 的内部如下述配设有摄像光学系统 2。弯曲部 108 为使前端部 110 朝向所期望的方向而设置的，通过使设置于操作部 102 的弯曲扫描旋钮 109 转动，可进行弯曲操作。

其次，参照附图 5，说明本实施方式所涉及的配置摄像光学系统 2 的前端部 110 的概略构成。图 5 是包括本摄像光学系统 2 的光轴的前端部 110 的主要部分剖面图。

如图 5 所示，前端部 110 的内部配置有与插入部 104 的长轴方向平行地配置其光轴的摄像光学系统 2、用于使摄像光学系统 2 的像侧的光路 90 度折曲的光路转换棱镜 7、和用于使其受光面与插入部 104 的长轴方向平行而与光路转换棱镜 7 接合的摄像元件 8。在本实施方式中，虽为摄像光学系统 2、光路转换棱镜 7，摄像元件 8 构成了摄像装置 10，但本发明中的光路转换棱镜 7 并不是必须的构成要素。

摄像元件 8 将摄像光学系统 2 所形成的像转换成用于由显示装置 122 显示的电信号的元件。摄像元件 8 例如可使用 CCD(Charge Coupled Device)或 CMOS(Complementary Metal Oxide Semiconductor)等的固体摄像元件。

如图 5 所示,通过配置摄像元件 8,在图 5 所示的前端部 110 的下半部分构成直视型观察光学系统,在图 5 所示的前端部 110 的上半部分构成处置工具插通通道 9,可在细径的插入部内配设多个元件。

需要说明的是,摄像元件 8 虽具有受光面保护用玻璃罩,但图 5 中在也包含玻璃罩的状态下作为摄像元件 8 图示。另外,图 5 的摄像光学系统 2 不表示透镜形状,而是概念性图示。图 5 将摄像光学系统 2 至摄像元件 8 的光路的光轴用一点划线表示。

本实施方式的摄像光学系统 2 不具备对于物体位置的移动进行聚焦的焦点调整机构,且使透镜群固定。

另外,摄像光学系统 2 构成为将来自规定的物体位置的光由摄像光学系统 2 成像的位置设为成像位置,将这时的摄像光学系统 2 的景深的远距离侧的限界点设为远点、将近距离侧的限界点设为近点时,在远点配置物体时的成像位置中的、由穿过光瞳径的 7 成径的光线的球差量 Z_f 、在最大像高的 8 成像高中的弧矢方向的场曲量 S_f 、在最大像高的 8 成像高中的子午方向的场曲量 T_f ,在近点配置物体时的成像位置中的、由通过光瞳径的 7 成径的光线的球差量 Z_n 、在最大像高的 8 成像高中的弧矢方向的场曲量 S_n 、在最大像高的 8 成像高中的子午方向的场曲量 T_n 满足下述条件式 (1)。

[数学式 2]

$$-1.5 \leq \frac{(T_f + S_f)/2 - Z_f}{(T_n + S_n)/2 - Z_n} \leq 0.0 \quad (1)$$

此处,景深的远点为自成像位置沿摄像光学系统 2 的方向隔离焦深 d 的点的共轭点;景深的近点为自上述成像位置逆着上述摄像光学系统 2 的方向隔离上述焦深 d 的点的共轭点。焦深 d 通过由显示装置 122 观察像时的允许模糊弥散圆径 δ 与决定上述规定的物体位置和成像位置时的有效 F 值 F_e , 定义为 $d = \delta \times F_e$ 。

允许模糊弥散圆径 δ 是在利用由显示装置 122 沿垂直方向（图 4 的箭头方向）所显示的像的成像位置的尺寸 V 而被表示的 $2V/240 \leq \delta \leq 2V/160$ 的范围，这样规定范围的理由如方法项所述。

需要说明的是，一般的显示装置具有横向的显示区域，例如，摄像区域的形状为矩形，在水平方向和垂直方向尺寸不同时，将对应于短一方的尺寸作为 V 。或者，摄像区域的形状为圆直径时，将其直径设为 V 。

如上所述，通过如以上的构成，在本实施方式的摄像光学系统及内窥镜的摄像装置中，即使不使用对物体位置的移动进行聚焦的调焦机构，也可将近点侧和远点侧的像面的变动量设为大致相同的程度，即使在观察距离的范围内物体位置变动，也不产生像的极端恶化，可获得良好的图像。

[实施例]

接下来，说明本发明所涉及的摄像光学系统的具体数值实施例。

<实施例 1>

表 1 表示实施例 1 所涉及的摄像光学系统的透镜数据，图 6 表示透镜构成图。图 6 的符号 R_i 、 D_i ($i=1、2、3、\dots$) 对应于表 1 的 R_i 、 D_i 。实施例 1 所涉及的摄像光学系统由透镜 $L1 \sim L5$ 的 4 群 5 片构成而成。需要说明的是，表 1 的透镜数据及图 6 的构成图表示了也包含孔径光阑 St 、设想在透镜系统和成像点 P 之间配置的滤光片、棱镜、玻璃罩等的平行平板状的光学部件 PP 、 GG 。图 6 的孔径光阑 St 不表示形状或大小，表示光轴 Z 上的位置。另外，关于孔径光阑 St 和平行平板状的光学部件的图示，还有下述的实施例也相同。

在表 1 的透镜数据中，面号码表示将最靠近物体侧的构成要素的面作为第 1 号而随着向像侧依次增加的第 i ($i=1、2、3、\dots$) 号的面号码。表 1 的 R_i 表示第 i ($i=1、2、3、\dots$) 号面的曲率半径， D_i 表示第 i ($i=1、2、3、\dots$) 号面（第 i 面）和第 $i+1$ 个面（第 $i+1$ 面）的光轴 Z 上的面间隔。另外 N_{dj} 表示将最靠近物体侧的光学要素作为第 1 号而随着向像侧依次增加的第 j ($j=1、2、3、\dots$) 号光学要素的相对于 d 线（波长 587.6nm）的折射率； ν_{dj} 表示第 j 号光学要素的相对于 d 线的阿贝数。在表 1 中，曲率半径及面间隔的单位为 mm，曲率半径在物体侧凸时为正，在像侧凸时为负。需要说明的是，表 1 中的记号的含义对于下述的实施例也相同。

[表 1]

实施例 1

| 面号码 | Ri | Di | Ndj | γdj |
|---------|----------|-------|---------|-------------|
| 1 | ∞ | 0.400 | 1.88300 | 40.8 |
| 2 | 0.832 | 0.370 | | |
| 3 | 7.468 | 1.460 | 1.84666 | 23.8 |
| 4 | ∞ | 0.000 | | |
| 5(孔径光阑) | ∞ | 0.035 | | |
| 6 | 8.414 | 1.150 | 1.62041 | 60.3 |
| 7 | -1.538 | 0.100 | | |
| 8 | 4.003 | 1.030 | 1.62041 | 60.3 |
| 9 | -1.212 | 0.400 | 1.84666 | 23.8 |
| 10 | -3.581 | 0.530 | | |
| 11 | ∞ | 2.800 | 1.55920 | 53.9 |
| 12 | ∞ | 0.300 | 1.51633 | 64.1 |
| 13(像面) | ∞ | | | |

<实施例 2>

表 2 表示实施例 2 所涉及的摄像光学系统的透镜数据，图 7 表示透镜构成图。图 7 的符号 Ri、Di 对应于表 2 的 Ri、Di。实施例 2 所涉及的摄像光学系统由透镜 L1~L5 的 4 群 5 片构成而成。需要说明的是，表 2 的透镜数据及图 7 的构成图表示也包含了孔径光阑 St、在透镜系统和成像点 P 之间配置的设想滤光片、棱镜、玻璃罩等的平行平板状的光学部件 PP、CG。

[表 2]

实施例 2

| 面号码 | Ri | Di | Ndj | γdj |
|---------|----------|-------|---------|-------------|
| 1 | ∞ | 0.400 | 1.88300 | 40.8 |
| 2 | 0.832 | 0.420 | | |
| 3 | 10.216 | 1.490 | 1.84666 | 23.8 |
| 4 | ∞ | 0.000 | | |
| 5(孔径光阑) | ∞ | 0.035 | | |
| 6 | 10.589 | 1.050 | 1.62041 | 60.3 |
| 7 | -1.818 | 0.100 | | |
| 8 | 5.437 | 1.050 | 1.62041 | 60.3 |
| 9 | -0.953 | 0.400 | 1.84666 | 23.8 |
| 10 | -1.901 | 0.570 | | |
| 11 | ∞ | 2.800 | 1.55920 | 53.9 |
| 12 | ∞ | 0.300 | 1.51633 | 64.1 |
| 13(像面) | ∞ | | | |

<实施例 3>

表 3 表示实施例 3 所涉及的摄像光学系统的透镜数据，图 8 表示透镜构成图。图 8 的符号 Ri、Di 对应于表 3 的 Ri、Di。实施例 3 所涉及的摄像光学系统由透镜 L1~L5 的 4 群 5 片构成而成。需要说明的是，表 3 的透镜数据及图 8 的构成图表示也包含了孔径光阑 St、在透镜系统和成像点 P 之间配置的设想滤光片、棱镜、玻璃罩等的平行平板状的光学部件 PP、CG。

[表 3]

实施例 3

| 面号码 | Ri | Di | Ndj | γdj |
|---------|----------|-------|---------|-------------|
| 1 | ∞ | 0.350 | 1.88300 | 40.8 |
| 2 | 0.703 | 0.331 | | |
| 3 | 4.165 | 0.980 | 1.92286 | 18.9 |
| 4 | ∞ | 0.000 | | |
| 5(孔径光阑) | ∞ | 0.085 | | |
| 6 | -3.647 | 0.890 | 1.71300 | 53.9 |
| 7 | -1.175 | 0.100 | | |
| 8 | 3.191 | 0.910 | 1.62041 | 60.3 |
| 9 | -1.125 | 0.350 | 1.92286 | 18.9 |
| 10 | -2.277 | 0.372 | | |
| 11 | ∞ | 2.200 | 1.55920 | 53.9 |
| 12 | ∞ | 0.300 | 1.51633 | 64.1 |
| 13(像面) | ∞ | | | |

<实施例 4>

表 4 表示实施例 4 所涉及的摄像光学系统的透镜数据，图 9 表示透镜构成图。图 9 的符号 Ri、Di 对应于表 4 的 Ri、Di。实施例 4 所涉及的摄像光学系统由透镜 L1~L5 的 4 群 5 片构成而成。需要说明的是，表 4 的透镜数据及图 9 的构成图表示也包含了孔径光阑 St、在透镜系统和成像点 P 之间配置的设想滤光片、棱镜、玻璃罩等的平行平板状的光学部件 PP、CG。

[表 4]

实施例 4

| 面号码 | Ri | Di | Ndj | γdj |
|---------|----------|-------|---------|-------------|
| 1 | ∞ | 0.350 | 1.88300 | 40.8 |
| 2 | 0.703 | 0.441 | | |
| 3 | 7.135 | 1.070 | 1.92286 | 18.9 |
| 4 | ∞ | 0.000 | | |
| 5(孔径光阑) | 光阑 | 0.085 | | |
| 6 | -3.647 | 0.730 | 1.71300 | 53.9 |
| 7 | -1.212 | 0.100 | | |
| 8 | 5.048 | 0.910 | 1.62041 | 60.3 |
| 9 | -0.778 | 0.350 | 1.92286 | 18.9 |
| 10 | -1.382 | 0.396 | | |
| 11 | ∞ | 2.200 | 1.55920 | 53.9 |
| 12 | ∞ | 0.300 | 1.51633 | 64.1 |
| 13(像面) | ∞ | | | |

<实施例 5>

表 5 表示实施例 5 所涉及的摄像光学系统的透镜数据，图 10 表示透镜构成图。图 10 的符号 Ri、Di 对应于表 5 的 Ri、Di。实施例 5 所涉及的摄像光学系统由透镜 L1~L6 的 4 群 6 片构成而成。需要说明的是，表 5 的透镜数据及图 10 的构成图表示也包含了孔径光阑 St、在透镜系统和成像点 P 之间配置的设想滤光片、棱镜、玻璃罩等的平行平板状的光学部件 PF、PP、CG。

[表 5]

实施例 5

| 面号码 | Ri | Di | Ndj | γdj |
|---------|----------|-------|---------|-------------|
| 1 | ∞ | 0.350 | 1.88300 | 40.8 |
| 2 | 0.703 | 0.404 | | |
| 3 | 8.985 | 0.300 | 1.80400 | 46.6 |
| 4 | 1.471 | 0.850 | 1.84666 | 23.8 |
| 5 | ∞ | 0.000 | | |
| 6(孔径光阑) | ∞ | 0.035 | | |
| 7 | ∞ | 0.790 | 1.62041 | 60.3 |
| 8 | -1.25 | 0.100 | | |
| 9 | 6.723 | 0.900 | 1.62041 | 60.3 |
| 10 | -0.892 | 0.360 | 1.92286 | 18.9 |
| 11 | -1.661 | 0.361 | | |
| 12 | ∞ | 0.380 | 1.51633 | 64.1 |
| 13 | ∞ | 0.035 | | |
| 14 | ∞ | 2.200 | 1.55920 | 53.9 |
| 15 | ∞ | 0.300 | 1.51633 | 64.1 |
| 16(像面) | ∞ | | | |

<实施例 6>

表 6 表示实施例 6 所涉及的摄像光学系统的透镜数据，图 11 表示透镜构成图。图 11 的符号 Ri、Di 对应于表 6 的 Ri、Di。实施例 6 所涉及的摄像光学系统由透镜 L1~L6 的 4 群 6 片构成而成。需要说明的是，表 6 的透镜数据及图 11 的构成图表示也包含了孔径光阑 St、在透镜系统和成像点 P 之间配置的设想滤光片、棱镜、玻璃罩等的平行平板状的光学部件 PF、PP、CG。

[表 6]

实施例 6

| 面号码 | Ri | Di | Ndj | γdj |
|---------|----------|-------|---------|-------------|
| 1 | ∞ | 0.350 | 1.88300 | 40.8 |
| 2 | 0.778 | 0.545 | | |
| 3 | ∞ | 0.350 | 1.83481 | 42.7 |
| 4 | 0.953 | 0.890 | 1.84666 | 23.8 |
| 5 | 9.553 | 0.016 | | |
| 6(孔径光阑) | ∞ | 0.035 | | |
| 7 | ∞ | 0.980 | 1.62041 | 60.3 |
| 8 | -1.304 | 0.100 | | |
| 9 | 5.675 | 0.890 | 1.62041 | 60.3 |
| 10 | -0.892 | 0.360 | 1.92286 | 18.9 |
| 11 | -1.594 | 0.379 | | |
| 12 | ∞ | 0.380 | 1.51633 | 64.1 |
| 13 | ∞ | 0.035 | | |
| 14 | ∞ | 2.200 | 1.55920 | 53.6 |
| 15 | ∞ | 0.300 | 1.51633 | 64.1 |
| 16(像面) | ∞ | | | |

<实施例 7>

表 7 表示实施例 7 所涉及的摄像光学系统的透镜数据，图 12 表示透镜构成图。图 12 的符号 Ri、Di 对应于表 7 的 Ri、Di。实施例 7 所涉及的摄像光学系统由透镜 L1~L5 的 4 群 5 片构成而成。需要说明的是，表 7 的透镜数据及图 12 的构成图表示也包含了孔径光阑 St、在透镜系统和成像点 P 之间配置的设想滤光片、棱镜、玻璃罩等的平行平板状的光学部件 PP、CG。

[表 7]

实施例 7

| 面号码 | Ri | Di | Ndj | γdj |
|---------|----------|-------|---------|-------------|
| 1 | ∞ | 0.250 | 1.88300 | 40.8 |
| 2 | 0.5 | 0.500 | | |
| 3 | ∞ | 0.920 | 1.92286 | 18.9 |
| 4 | ∞ | 0.000 | | |
| 5(孔径光阑) | ∞ | 0.035 | | |
| 6 | ∞ | 0.650 | 1.71300 | 53.9 |
| 7 | -1.426 | 0.260 | | |
| 8 | 1.901 | 0.810 | 1.62041 | 60.3 |
| 9 | -0.644 | 0.350 | 1.92286 | 18.9 |
| 10 | -1.304 | 0.371 | | |
| 11 | ∞ | 1.700 | 1.55920 | 53.9 |
| 12 | ∞ | 0.250 | 1.51633 | 64.1 |
| 13(像面) | ∞ | | | |

表 8~表 11 表示上述实施例 1~实施例 7 中的对应于各种数据及条件式 (1) 的值。表 8~表 11 所记载的记号的一部分对应于图 1 所示的记号。需要说明的是，图 1 除了上述说明的符号以外，图示了焦距 f 、前截距 Ff 、后截距 Bf 、从前侧焦点位置至物体位置 P_o 的距离 X_o 、从后侧焦点位置至成像位置 P_i 的距离 X_i 。

在表 8~表 11 中，“设定物体距离”是从透镜 L1 的物体侧的面至最初设定的规定的物体位置 P_o 的距离，“V 尺寸”是上述的尺寸 V，“TV 根数”是作为允许模糊弥散圆径 $\delta = 2V / (\text{TV 根数})$ 在决定允许模糊弥散圆径 δ 时使用的值。

另外，各表的最靠近左栏的竖着写着的“设定物体位置”、“近点”、“远点”分别意味着在设定物体位置配置物体的情况、在近点配置物体的情况、在远点配置物体的情况。例如，“近点”栏的“物体距离”是近点侧观察

时的物体距离，这即是从透镜 L1 的物体侧的面至近点的距离。同样的，“远点”栏的“物体距离”是远点侧观察时的物体距离，这即是从透镜 L1 的物体侧的面至远点的距离。

列举近点栏为例说明时，“球差”是通过光瞳径的 7 成径的光线所产生的球差量 Z_n ；“S 方向场曲”是在最大像高的 8 成像高中的弧矢方向的场曲量 S_n ；“T 方向场曲”是在最大像高的 8 成像高中的子午方向的场曲量 T_n ；“S、T 平均值”是通过 $(T_n+S_n)/2$ 计算的上述 2 方向的场曲量的平均值 M_n ；“差”是通过 M_n-Z_n 计算而得。关于设定物体位置、远点栏也相同。

表 8~表 11 关于实施例 1、3、4、5、6 将改变 TV 根数和设定物体距离作为例表示，关于实施例 2 将改变设定物体距离作为例表示。

[表 8]

| | | | 实施例 1 | | | 实施例 2 | | |
|----------|----------|-------------------|-------------|--------|----------|--------|----------|--------|
| | | | 例 1-1 | 例 1-2 | 例 1-3 | 例 2-1 | 例 2-2 | |
| | 像高 | (mm) | Y | 1.20 | 1.20 | 1.20 | 1.00 | 1.00 |
| | 焦距 | (mm) | f | 1.2057 | 1.2057 | 1.2057 | 1.0293 | 1.0293 |
| | 前焦点 | (mm) | f | 0.4770 | 0.4770 | 0.4770 | 0.5988 | 0.5988 |
| | 全视角 | (度) | 2ω | 134.8 | 134.8 | 133.3 | 131.1 | 129.9 |
| | 光阑径 | (mm) | \emptyset | 0.40 | 0.40 | 0.40 | 0.35 | 0.35 |
| | 设定物体距离 | (mm) | | 10.0 | 10.0 | 8.0 | 8.0 | 6.0 |
| | 有效 F 值 | | Fe | 6.641 | 6.641 | 6.682 | 6.617 | 6.653 |
| | V 尺寸 | (mm) | V | 1.80 | 1.80 | 1.80 | 1.80 | 1.80 |
| | TV 根数 | 根数 | | 240 | 160 | 160 | 160 | 160 |
| | 允许模糊弥散 | (mm) | δ | 0.0150 | 0.0225 | 0.0225 | 0.0225 | 0.0225 |
| | 圆径 | (mm) | d | 0.0996 | 0.1494 | 0.1503 | 0.1489 | 0.1497 |
| | 焦深 | (mm) | | | | | | |
| | 设定物体位置 | 物体距离 | (mm) | | 10.0 | 10.0 | 8.0 | 8.0 |
| 像距离 | | (mm) | Xi | 0.1388 | 0.1388 | 0.1715 | 0.1232 | 0.1605 |
| 球差 | | (μm) | Z | -4.4 | -4.4 | -4.5 | -2.3 | -2.5 |
| S 方向场曲 | | (μm) | S | -8.3 | -8.3 | -17.1 | -26.2 | -35.4 |
| T 方向场曲 | | (μm) | T | -37.9 | -37.9 | -58.3 | -74.9 | -96.7 |
| S、T 平均值差 | | (μm) | M-Z | -23.1 | -23.1 | -37.7 | -50.6 | -66.0 |
| 近点 | 物体距离 | (mm) | Dnear | 5.62 | 4.57 | 4.04 | 3.29 | 2.82 |
| | 球差 | (μm) | Zn | -4.8 | -5.0 | -5.2 | -3.1 | -3.4 |
| | S 方向场曲 | (μm) | Sn | -33.9 | -45.3 | -52.5 | -59.5 | -66.5 |
| | T 方向场曲 | (μm) | Tn | -98.1 | -125.9 | -144.1 | -158.8 | -175.2 |
| | S、T 平均值差 | (μm) | Mn-Zn | -66.0 | -85.6 | -98.3 | -109.2 | -120.8 |
| 远 | 物体距离 | (mm) | Dfar | 36.7 | ∞ | 68.3 | ∞ | 97.1 |

| | | | | | | | | |
|--|--------|-------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 点 | 球差 | (μm) | Zf | -4.0 | -3.8 | -3.9 | -1.6 | -1.7 |
| | S方向场曲 | (μm) | Sf | 21.1 | 33.8 | 26.9 | 8.2 | 4.9 |
| | T方向场曲 | (μm) | Tf | 27.9 | 55.3 | 40.4 | 2.8 | -4.4 |
| | S、T平均值 | (μm) | Mf | 24.5 | 44.6 | 33.6 | 5.5 | 0.3 |
| | 差 | (μm) | Mf-Zf | 28.5 | 48.4 | 37.5 | 7.1 | 2.0 |
| $\frac{(Tf+Sf)/2-Zf}{(Tn+Sn)/2-Zn}$ 式(1) | | | | -0.47 | -0.60 | -0.40 | -0.07 | -0.02 |

[表 9]

| | | | 实施例 3 | | | 实施例 4 | | | |
|---------|-------|-------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| | | | 例 3-1 | 例 3-2 | 例 3-3 | 例 4-1 | 例 4-2 | 例 4-3 | |
| 像高 | (mm) | Y | 0.90 | 0.90 | 0.90 | 0.75 | 0.75 | 0.75 | |
| 焦距 | (mm) | f | 0.9223 | 0.9223 | 0.9223 | 0.7650 | 0.7650 | 0.7650 | |
| 前焦点 | (mm) | Ff | 0.4517 | 0.4517 | 0.4517 | 0.5467 | 0.5467 | 0.5467 | |
| 全视角 | (度) | 2ω | 134.9 | 134.9 | 134 | 137.1 | 137.1 | 136.6 | |
| 光阑径 | (mm) | ϕ | 0.35 | 0.35 | 0.35 | 0.35 | 0.35 | 0.45 | |
| 设定物体距离 | (mm) | | 10.0 | 10.0 | 8.0 | 10.0 | 10.0 | 8.0 | |
| 有效 F 值 | | Fe | 5.177 | 5.177 | 5.177 | 4.807 | 4.807 | 3.75 | |
| V 尺寸 | (mm) | V | 1.35 | 1.35 | 1.35 | 1.35 | 1.35 | 1.35 | |
| TV 根数 | 根数 | | 240 | 160 | 160 | 240 | 160 | 160 | |
| 允许模糊弥散圆 | (mm) | δ | 0.0113 | 0.0169 | 0.0169 | 0.0113 | 0.0169 | 0.0169 | |
| 径 | (mm) | d | 0.0582 | 0.0874 | 0.0874 | 0.0541 | 0.0811 | 0.0633 | |
| 焦深 | | | | | | | | | |
| 设 | 物体距离 | (mm) | 10.0 | 10.0 | 8.0 | 10.0 | 10.0 | 8.0 | |
| 定 | 像距离 | (mm) | Xi | 0.0814 | 0.0814 | 0.1007 | 0.0555 | 0.0555 | 0.0685 |
| 物 | 球差 | (μm) | Z | -10.6 | -10.6 | -10.7 | -12.4 | -12.4 | -20.4 |
| 体 | S方向场曲 | (μm) | S | -0.9 | -0.9 | -5.4 | -6.5 | -6.5 | -10.2 |
| 位 | T方向场曲 | (μm) | T | -22.5 | -22.5 | -34.8 | -32.4 | -32.4 | -40.7 |

| | | | | | | | | | |
|---|---------|-------------------|-------|-------|----------|-------|-------|----------|-------|
| 置 | S、T 平均值 | (μm) | M | -11.7 | -11.7 | -20.1 | -19.4 | -19.4 | -25.4 |
| | 差 | (μm) | M-Z | -1.1 | -1.1 | -9.4 | -7.0 | -7.0 | -5.1 |
| 近 点 | 物体距离 | (mm) | Dnear | 5.64 | 4.59 | 4.07 | 4.79 | 3.74 | 3.90 |
| | 球差 | (μm) | Zn | -11.0 | -11.2 | -11.4 | -13.0 | -13.3 | -13.7 |
| | S 方向场曲 | (μm) | Sn | -15.8 | -23.1 | -27.8 | -21.1 | -27.8 | -26.6 |
| | T 方向场曲 | (μm) | Tn | -58.8 | -76.2 | -87.4 | -66.1 | -82.0 | -79.2 |
| | S、T 平均值 | (μm) | Mn | -37.3 | -49.6 | -57.6 | -43.6 | -54.9 | -52.9 |
| | 差 | (μm) | Mn-Zn | -26.3 | -38.4 | -46.2 | -30.7 | -41.6 | -39.2 |
| 远 点 | 物体距离 | (mm) | Dfar | 36.3 | ∞ | 63.5 | 413.0 | ∞ | 112.0 |
| | 球差 | (μm) | Zf | -10.2 | -10.0 | -10.1 | -11.9 | -11.9 | -12.3 |
| | S 方向场曲 | (μm) | Sf | 17.4 | 24.7 | 20.4 | 9.9 | 10.4 | 8.7 |
| | T 方向场曲 | (μm) | Tf | 16.0 | 31.8 | 22.7 | 3.6 | 4.6 | 1.0 |
| | S、T 平均值 | (μm) | Mf | 16.7 | 28.3 | 21.6 | 6.8 | 7.5 | 4.9 |
| | 差 | (μm) | Mf-Zf | 26.8 | 38.3 | 31.7 | 18.7 | 19.4 | 17.2 |
| $\frac{(Tf + Sf)/2 - Zf}{(Tn + Sn)/2 - Zn}$ 式 (1) | | | | -1.02 | -1.00 | -0.68 | -0.61 | -0.47 | -0.44 |

[表 10]

| | | | 实施例 5 | | | 实施例 6 | | |
|--------|------|-------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| | | | 例 5-1 | 例 5-2 | 例 5-3 | 例 6-1 | 例 6-2 | 例 6-3 |
| 像高 | (mm) | Y | 0.90 | 0.90 | 0.90 | 0.75 | 0.75 | 0.75 |
| 焦距 | (mm) | f | 0.9137 | 0.9137 | 0.9137 | 0.7626 | 0.7626 | 0.7626 |
| 前焦点 | (mm) | Ff | 0.4894 | 0.4894 | 0.4894 | 0.6172 | 0.6172 | 0.6172 |
| 全视角 | (度) | 2ω | 134.8 | 134.8 | 134.8 | 137.8 | 137.8 | 137.5 |
| 光阑径 | (mm) | \emptyset | 0.40 | 0.40 | 0.40 | 0.40 | 0.40 | 0.45 |
| 设定物体距离 | (mm) | | 10.0 | 10.0 | 8.0 | 8.0 | 8.0 | 7.0 |
| 有效 F 值 | | Fe | 5.17 | 5.17 | 5.188 | 4.695 | 4.695 | 4.179 |
| V 尺寸 | (mm) | V | 1.35 | 1.35 | 1.35 | 1.35 | 1.35 | 1.35 |

| | | | | | | | | | |
|--|---------|-------------------|----------|--------|----------|--------|--------|----------|--------|
| | TV根数 | 根数 | | 240 | 160 | 160 | 240 | 160 | 160 |
| | 允许模糊弥散圆 | (mm) | δ | 0.0113 | 0.0169 | 0.0169 | 0.0113 | 0.0169 | 0.0169 |
| | 径 | (mm) | d | 0.0582 | 0.0872 | 0.0875 | 0.0528 | 0.0792 | 0.0705 |
| | 焦深 | | | | | | | | |
| 设定 物体 位置 | 物体距离 | (mm) | | 10.0 | 10.0 | 8.0 | 8.0 | 8.0 | 7.0 |
| | 像距离 | (mm) | Xi | 0.0796 | 0.0796 | 0.0983 | 0.0675 | 0.0675 | 0.0764 |
| | 球差 | (μm) | Z | -12.3 | -12.3 | -12.4 | -16.8 | -16.8 | -21.2 |
| | S方向场曲 | (μm) | S | -0.7 | -0.7 | -5.8 | -2.1 | -2.1 | -4.5 |
| | T方向场曲 | (μm) | T | -20.6 | -20.6 | -32.3 | -26.9 | -26.9 | -32.5 |
| | S、T平均值 | (μm) | M | -10.7 | -10.7 | -19.1 | -14.5 | -14.5 | -18.5 |
| | 差 | (μm) | M-Z | 1.6 | 1.6 | -6.7 | -10.1 | -10.1 | -11.3 |
| 近 点 | 物体距离 | (mm) | Denar | 5.57 | 4.51 | 4.00 | 4.22 | 3.35 | 3.34 |
| | 球差 | (μm) | Zn | -12.8 | -13.1 | -13.3 | -17.3 | -17.6 | -18.3 |
| | S方向场曲 | (μm) | Sn | -16.0 | -23.1 | -27.5 | -15.9 | -22.2 | -22.2 |
| | T方向场曲 | (μm) | Tn | -56.2 | -73.1 | -83.8 | -59.3 | -74.6 | -74.8 |
| | S、T平均值 | (μm) | Mn | -36.1 | -48.1 | -55.6 | -37.6 | -48.4 | -48.5 |
| | 差 | (μm) | Mn-Zn | -23.3 | -35.0 | -42.4 | -20.3 | -30.8 | -30.2 |
| 远 点 | 物体距离 | (mm) | Dfar | 38.5 | ∞ | 76.9 | 39.0 | ∞ | 99.0 |
| | 球差 | (μm) | Zf | -11.7 | -11.5 | -11.6 | -16.3 | -16.2 | -16.9 |
| | S方向场曲 | (μm) | Sf | 16.2 | 22.9 | 19.5 | 13.6 | 18.3 | 16.4 |
| | T方向场曲 | (μm) | Tf | 17.2 | 31.8 | 24.4 | 7.8 | 17.9 | 13.9 |
| | S、T平均值 | (μm) | Mf | 16.7 | 27.3 | 22.0 | 10.7 | 18.1 | 15.1 |
| | 差 | (μm) | Mf-Zf | 28.4 | 38.8 | 33.6 | 27.0 | 34.2 | 32.0 |
| $\frac{(Tf + Sf)/2 - Zf}{(Tn + Sn)/2 - Zn}$ 式(1) | | | | -1.22 | -1.11 | -0.79 | -1.33 | -1.11 | -1.06 |

[表 11]

| | | | | 实施例 7 | | |
|--------|----------|-------------------|-------------|--------|----------|--------|
| | | | | 例 7-1 | 例 7-2 | 例 7-3 |
| | 像高 | (mm) | Y | 0.50 | 0.50 | 0.50 |
| | 焦距 | (mm) | f | 0.5473 | 0.5473 | 0.5473 |
| | 前焦点 | (mm) | Ff | 0.4431 | 0.4431 | 0.4431 |
| | 全视角 | (度) | 2ω | 124.5 | 124.5 | 124 |
| | 光阑径 | (mm) | \emptyset | 0.35 | 0.35 | 0.40 |
| | 设定物体距离 | (mm) | | 7.0 | 7.0 | 5.0 |
| | 有效 F 值 | | Fe | 4.432 | 4.432 | 3.901 |
| | V 尺寸 | (mm) | V | 1.00 | 1.00 | 1.00 |
| | TV 根数 | 根数 | | 240 | 160 | 160 |
| | 允许模糊弥散圆径 | (mm) | δ | 0.0083 | 0.0125 | 0.0125 |
| 焦深 | (mm) | d | 0.0369 | 0.0554 | 0.0488 | |
| 设定物体位置 | 物体距离 | (mm) | | 7.0 | 7.0 | 5.0 |
| | 像距离 | (mm) | Xi | 0.0402 | 0.0402 | 0.0550 |
| | 球差 | (μm) | Z | 5.3 | 5.3 | 7.0 |
| | S 方向场曲 | (μm) | S | 2.4 | 2.4 | -1.3 |
| | T 方向场曲 | (μm) | T | -21.1 | -21.1 | -29.8 |
| | S、T 平均值差 | (μm) | M | -9.3 | -9.3 | -15.5 |
| 近点 | 物体距离 | (mm) | Dnear | 3.44 | 2.69 | 2.44 |
| | 球差 | (μm) | Zn | 3.7 | 3.6 | 3.5 |
| | S 方向场曲 | (μm) | Sn | -6.5 | -10.6 | -12.4 |
| | T 方向场曲 | (μm) | Tn | -42.4 | -52.4 | -56.8 |
| | S、T 平均值差 | (μm) | Mn | -24.4 | -31.5 | -34.6 |
| | | (μm) | Mn-Zn | -28.1 | -35.1 | -38.1 |
| 远点 | 物体距离 | (mm) | Dfar | 90.1 | ∞ | 47.4 |
| | 球差 | (μm) | Zf | 4.2 | 4.2 | 4.1 |

| | | | | | |
|---|-------------------|-------|-------|-------|-------|
| S 方向场曲 | (μm) | Sf | 12.4 | 13.4 | 11.6 |
| T 方向场曲 | (μm) | Tf | 1.5 | 3.6 | 0.0 |
| S、T 平均值 | (μm) | Mf | 7.0 | 8.5 | 5.8 |
| 差 | (μm) | Mf-Zf | 2.8 | 4.3 | 1.7 |
| $\frac{(Tf + Sf)/2 - Zf}{(Tn + Sn)/2 - Zn}$ 式 (1) | | | -0.10 | -0.12 | -0.04 |

从对应于表 8~表 11 的式 (1) 的值可得知, 各例满足所有条件式 (1), 在这些实施例中, 即使在观察距离的范围内变动物体位置, 也不产生像的极端恶化, 可获得良好的图像。

图 13~图 19 分别表示上述实施例 1~7 所涉及的摄像光学系统的球差、像散、畸变 (distortion)。各像差图表示将 d 线作为基准波长的像差。在像散图中, 实线表示弧矢方向的像差, 虚线表示子午方向的像差。球差图的 FNo. 为 F 值, 其他像差图的 ω 表示半视角。如从图 13~图 19 所知, 上述实施例 1~实施例 7 良好地补正了各像差。

在此, 图 13~图 19 的像差图对应于表 8~表 11 所示的例。例如, 记载为“例 1-1”的图 13 的上段的像差图、中段的像差图、下段的像差图分别对应于在表 8 的记载为“例 1-1”的栏的设定物体位置配置物体的情况、在近点配置物体的情况、在远点配置物体的情况。关于其他的像差图也相同。

需要说明的是, 在上述实施方式虽由眼睛的分解能力和观察距离决定允许模糊弥散圆径, 但在使用配置多个像素的摄像元件形成图像的内窥镜的摄像装置中, 也考虑了由摄像元件的像素的排列间距决定允许模糊弥散圆径。

例如, 在表 8~表 11 所示的实施例中的 V 尺寸为 1.0~1.8mm, 根据其允许模糊弥散圆径 δ 范围即 $2V/240 \leq \delta \leq 2V/160$, 允许模糊弥散圆径 δ 的值成为 $0.0083\text{mm} \leq \delta \leq 0.0225\text{mm}$ 。在此, 摄像元件的像素的间距约为 $2\mu\text{m}$ 时, 允许模糊弥散圆径 δ 相当于像素 4 个~10 个长度。

具体而言, 表 12 的表示表 8~表 11 所示的例中, 像素的间距 P 为 $2\mu\text{m}$ 或 $1.8\mu\text{m}$ 时的允许模糊弥散圆径 δ 和间距 P 的比 δ/P 。表 12 所示的 δ/P 因取 4.2~11.3 的值, 所以, 也可以使用摄像元件的像素的间距 P, 将允许模糊弥散圆径 δ 的范围作为 $4P \leq \delta \leq 10P$, 基于此决定景深。

[表 12]

| | 实施例 1 | | | 实施例 2 | | 实施例 3 | | |
|--------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | 例 1-1 | 例 1-2 | 例 1-3 | 例 2-1 | 例 2-2 | 例 3-1 | 例 3-2 | 例 3-3 |
| 间距 (μm) P 比 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 1.8 | 1.8 | 1.8 |
| δ / P | 7.5 | 11.3 | 11.3 | 11.3 | 11.3 | 6.3 | 9.4 | 9.4 |
| | 实施例 4 | | | 实施例 5 | | | | |
| | 例 4-1 | 例 4-2 | 例 4-3 | 例 5-1 | 例 5-2 | 例 5-3 | | |
| 间距 (μm) P 比 | 1.8 | 1.8 | 1.8 | 1.8 | 1.8 | 1.8 | | |
| δ / P | 6.3 | 9.4 | 9.4 | 6.3 | 9.4 | 9.4 | | |
| | 实施例 6 | | | 实施例 7 | | | | |
| | 例 6-1 | 例 6-2 | 例 6-3 | 例 7-1 | 例 7-2 | 例 7-3 | | |
| 间距 (μm) P 比 | 1.8 | 1.8 | 1.8 | 2 | 2 | 2 | | |
| δ / P | 6.3 | 9.4 | 9.4 | 4.2 | 6.3 | 6.3 | | |

以上，例举了实施方式及实施例说明了本发明，但本发明不限于上述实施方式及实施例，可以是各种变形。例如，各透镜成分的曲率半径、面间隔及折射率的值不限于上述各数值实施例所示的值，可取其他值。

例如，在上述实施方式中虽使用了像高的 8 成的弧矢方向的场曲量和子午方向的场曲量的平均值，但在画面最周边部受到重视时，也可使用像高的 10 成（最大像高）的弧矢方向的场曲量和子午方向的场曲量的平均值。反过来，在在像高的约 5 成之内只要获得良好的像即可的情况下，也可使用像高的 5 成的弧矢方向的场曲量和子午方向的场曲量的平均值。

如此，可根据所要求的光学系统的规格任意设定使用像高的某种比例的场曲量。同样的，关于球差，也可根据必要适当地设定根据通过光瞳径的某种比例的光线。

另外，在上述实施方式中虽相同地使用弧矢方向的场曲量和子午方向的场曲量的平均值，但也可采用在弧矢方向的场曲量和子午方向的场曲量不同比率加权的值。进一步作为极端的例，也可只使用弧矢方向的场曲量和子午方向的场曲量的任一方。

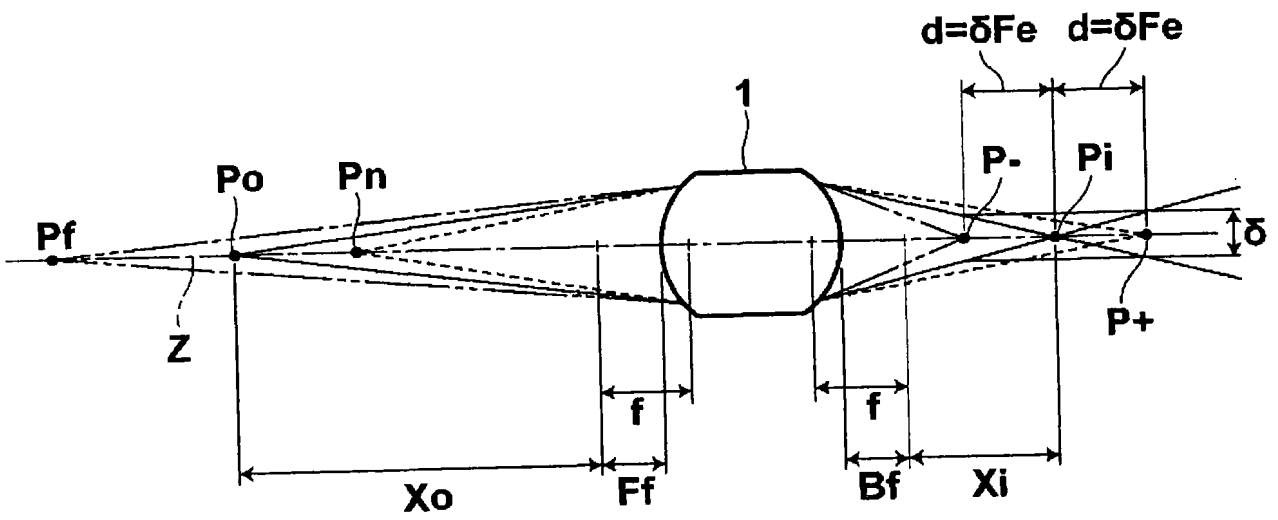


图 1

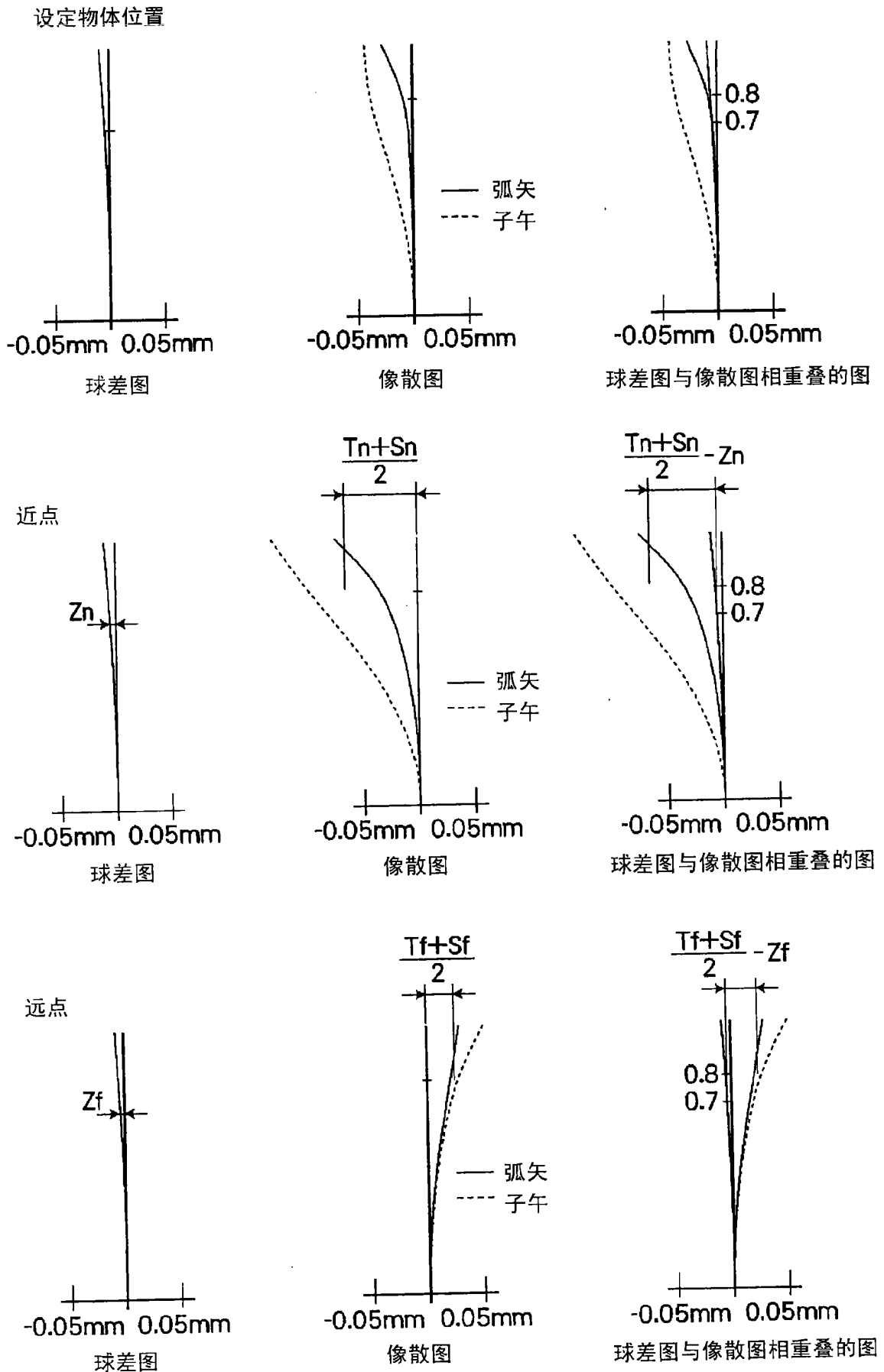


图 2

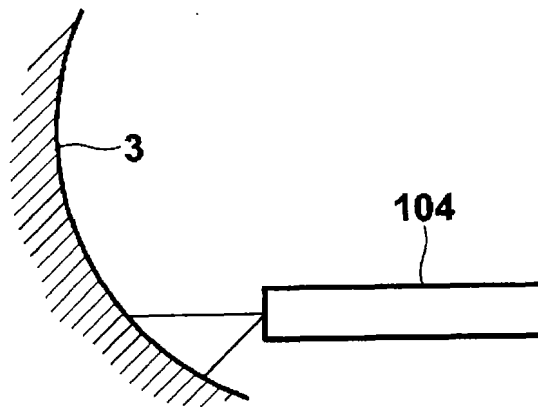


图 3

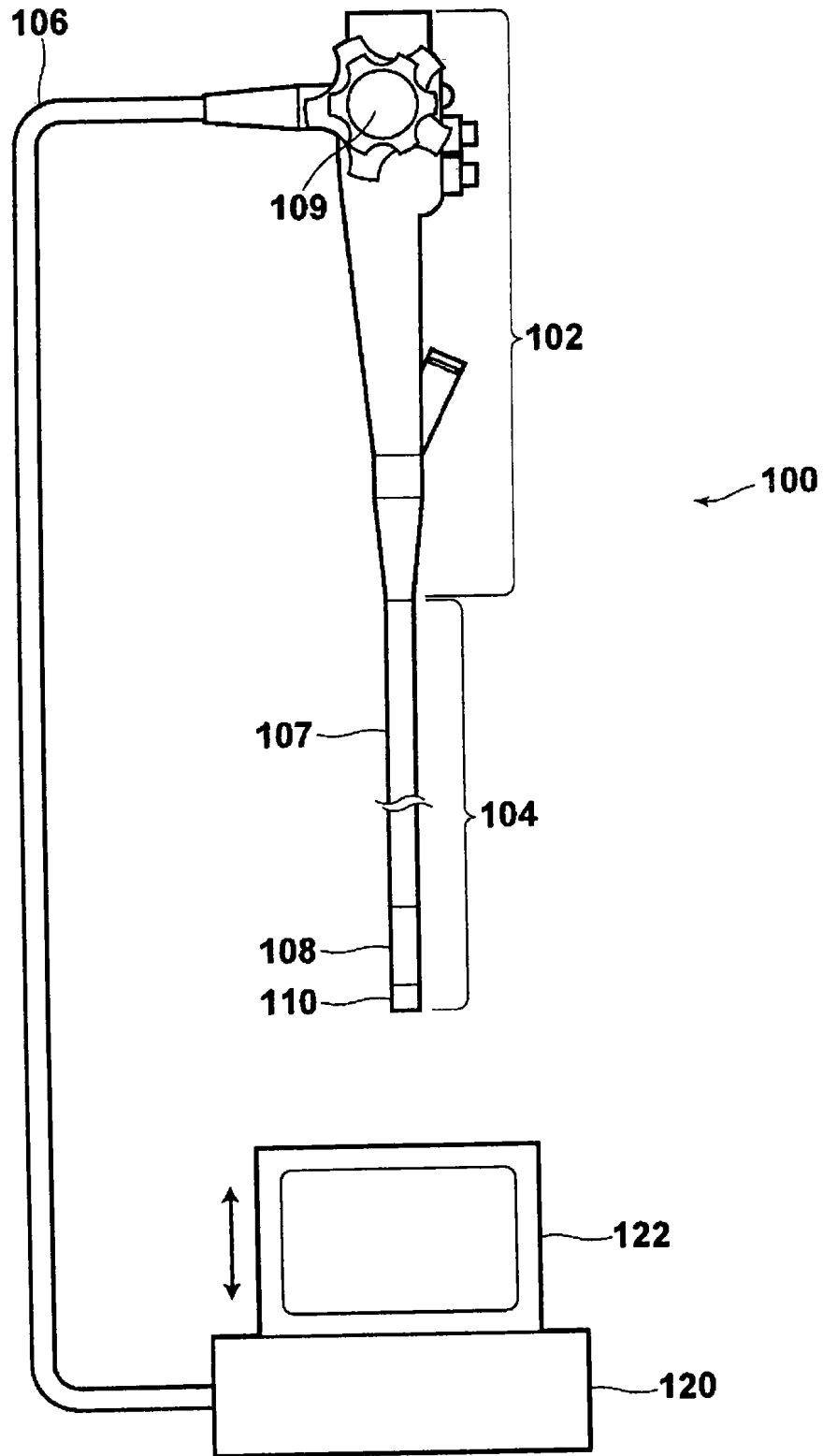


图 4

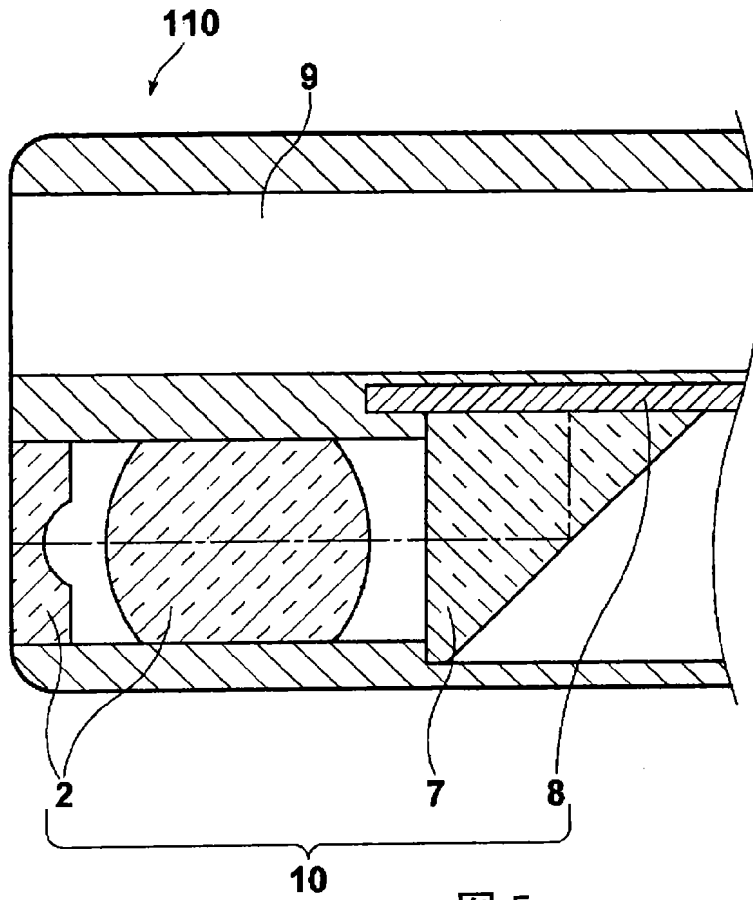


图 5

实施例 1

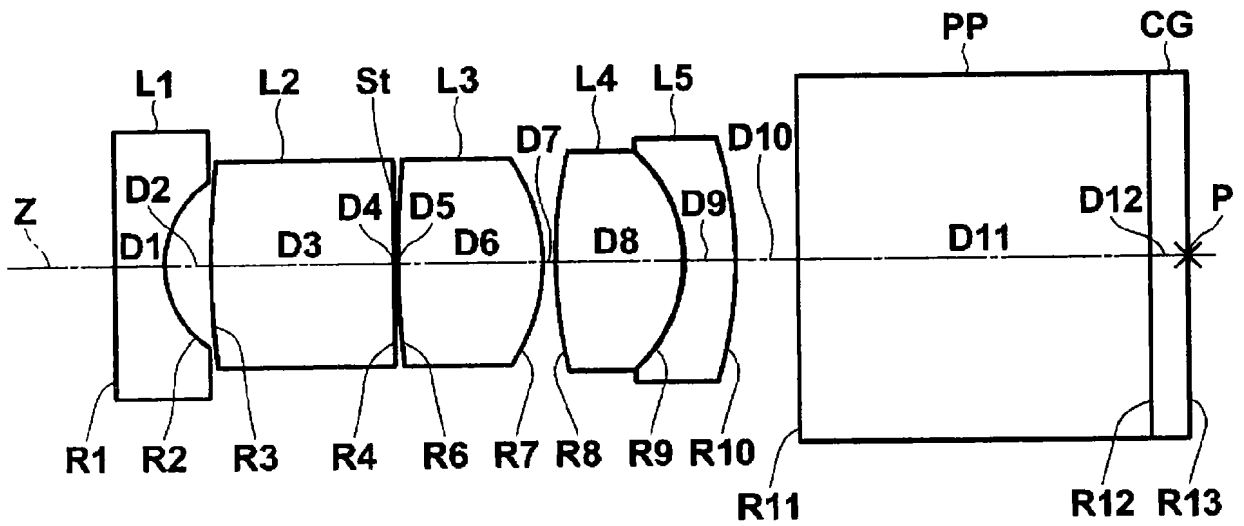
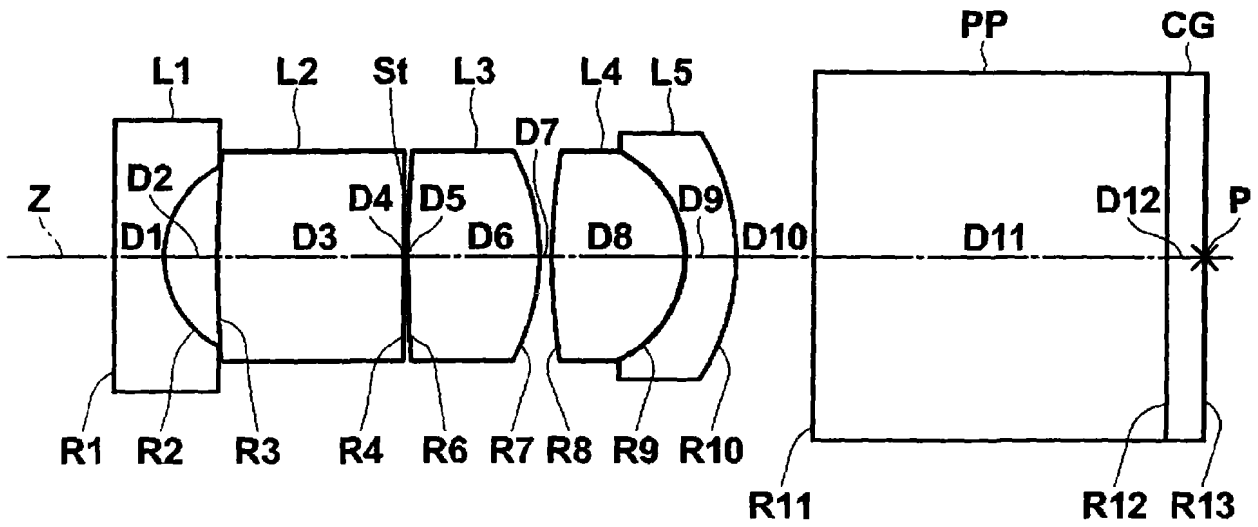


图 6

实施例2



实施例3

图7

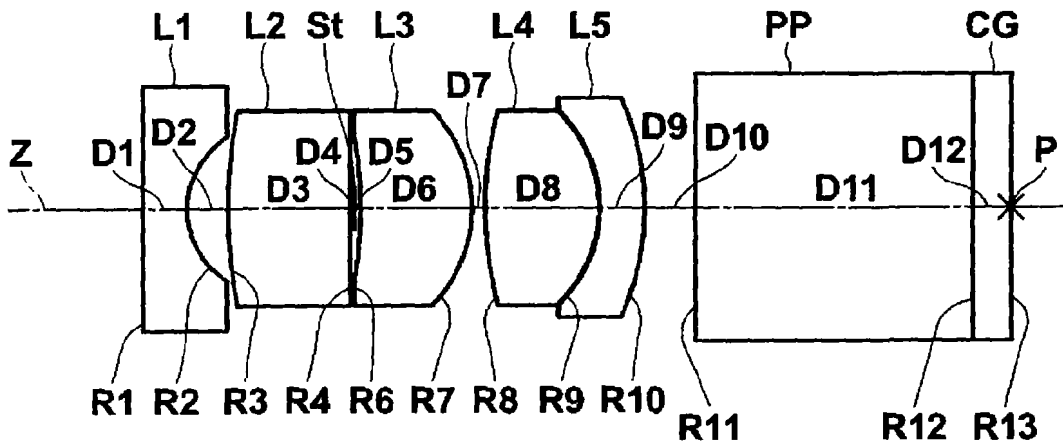


图8

实施例4

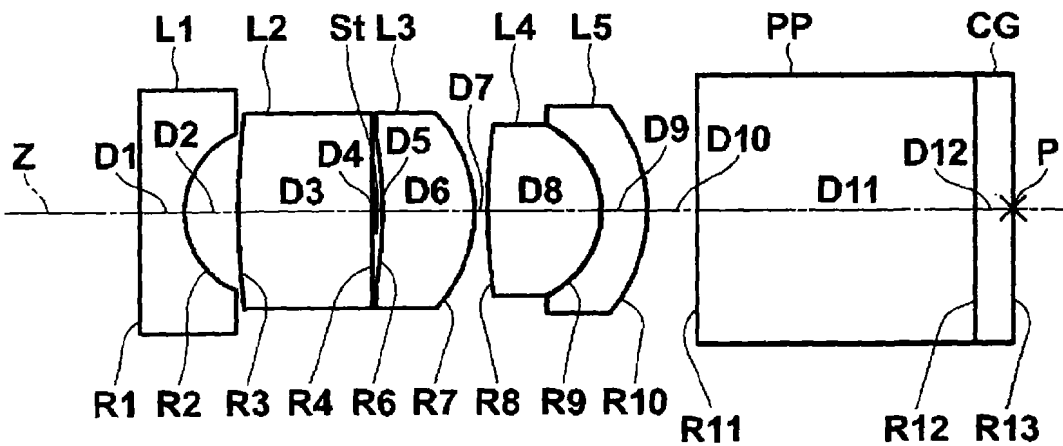


图9

实施例 5

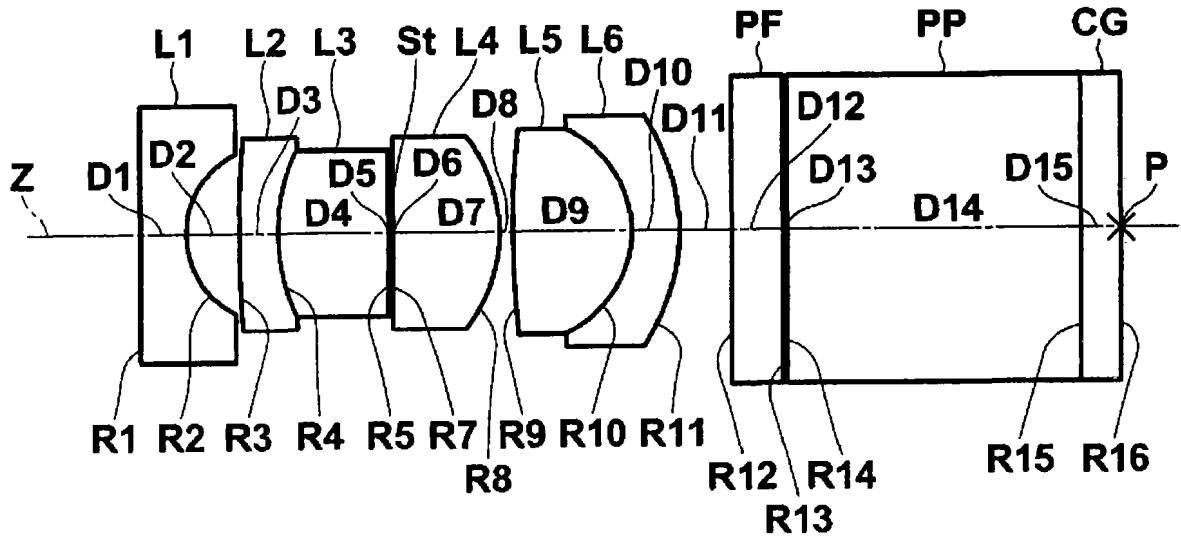


图 10

实施例 6

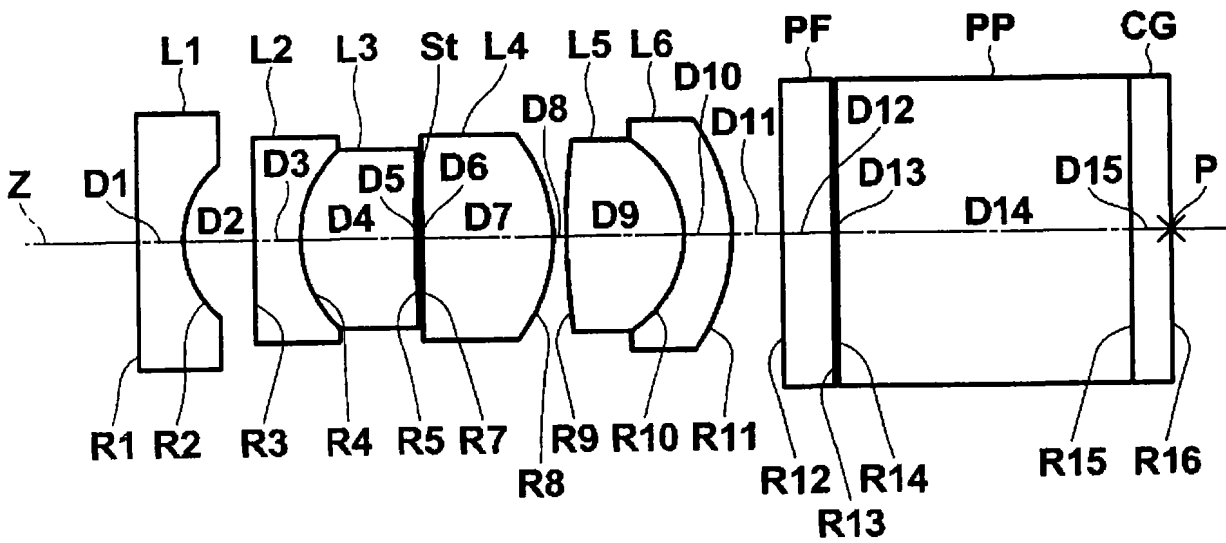


图 11

实施例 7

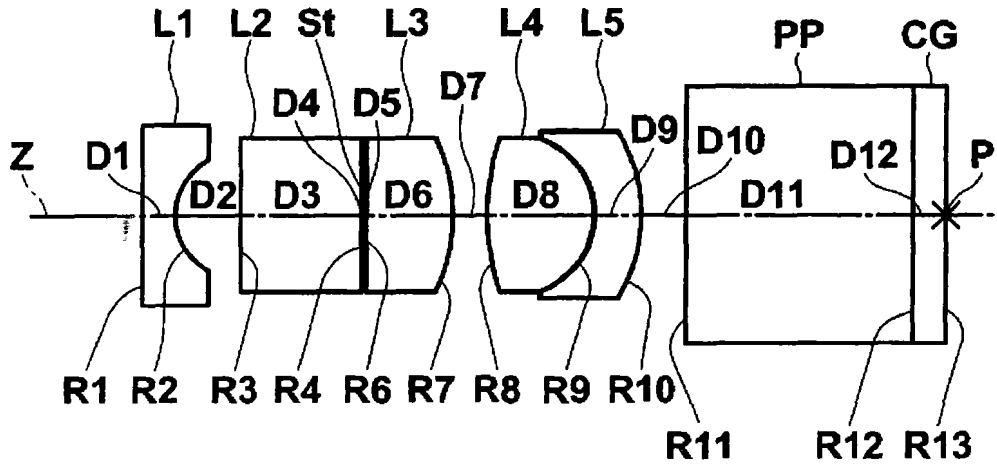
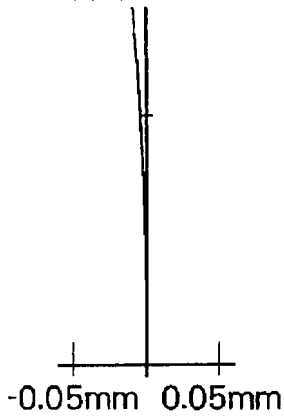


图 12

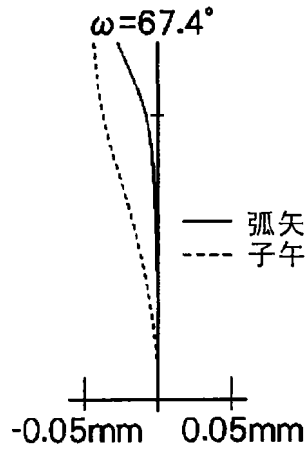
例 1-1

物体距离 10mm

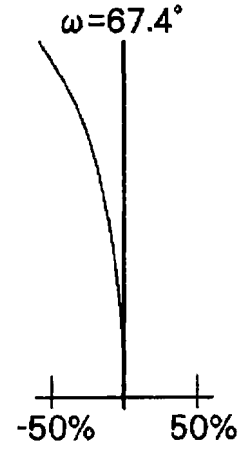
FNo.=6.64



球差



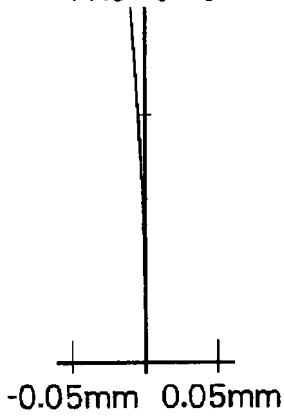
像散



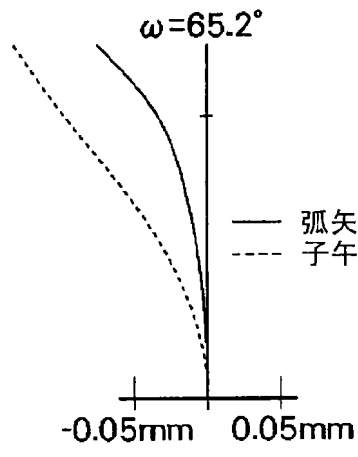
畸变

物体距离 5.62mm

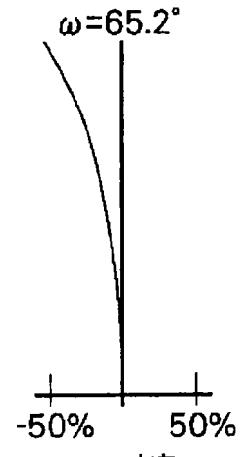
FNo.=6.76



球差



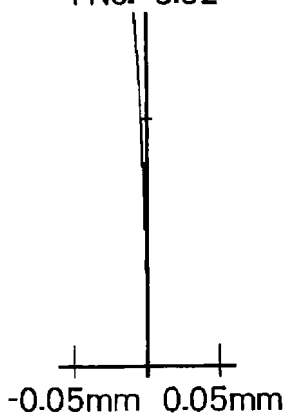
像散



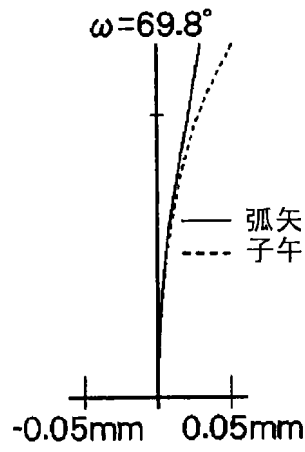
畸变

物体距离 36.7mm

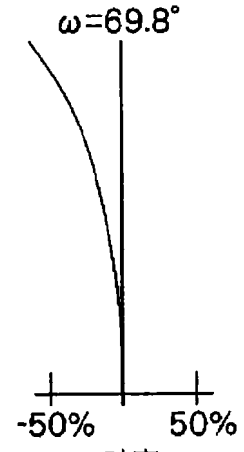
FNo.=6.52



球差



像散



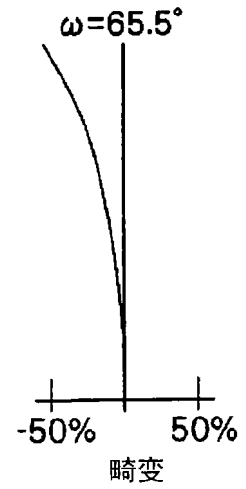
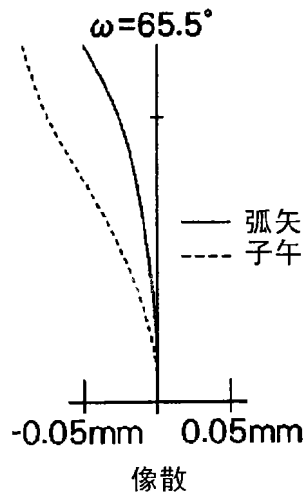
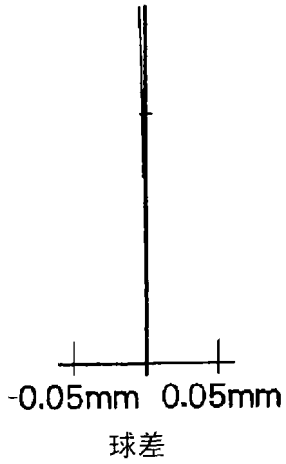
畸变

图 13

例 2 - 1

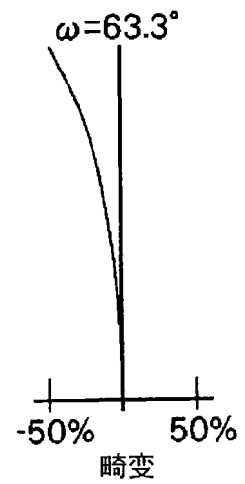
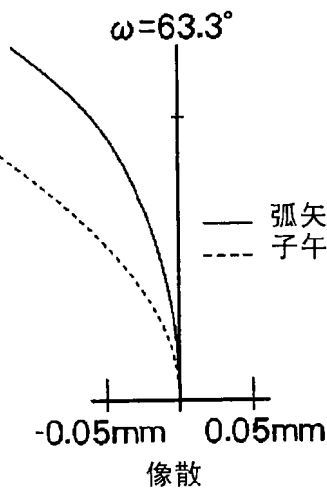
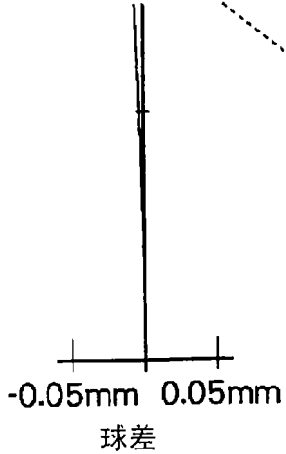
物体距离 8.0mm

FNo.=6.62



物体距离 3.29mm

FNo.=6.76



物体距离 ∞

FNo.=6.50

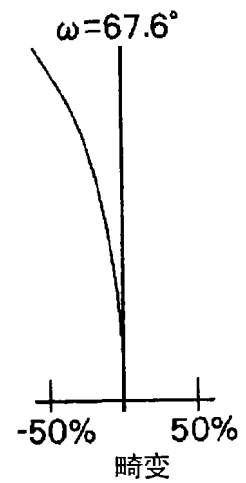
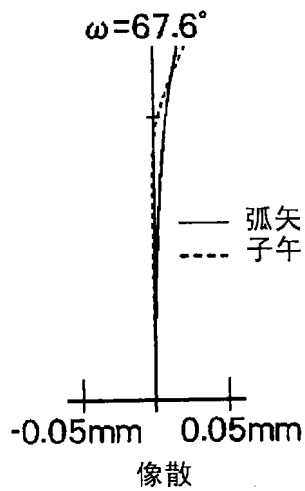
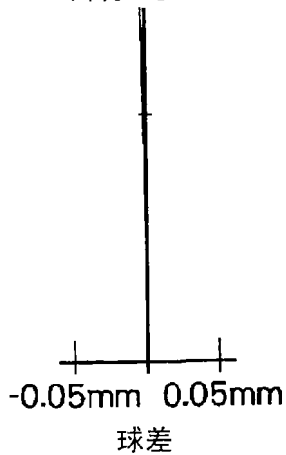
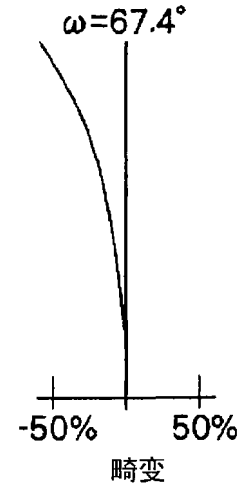
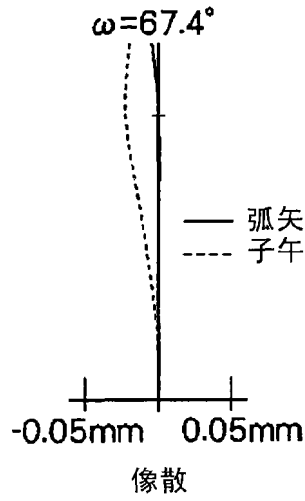
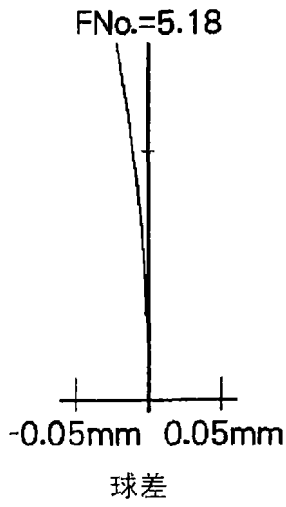


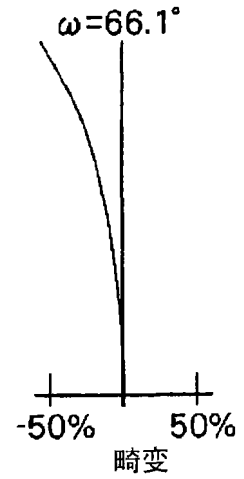
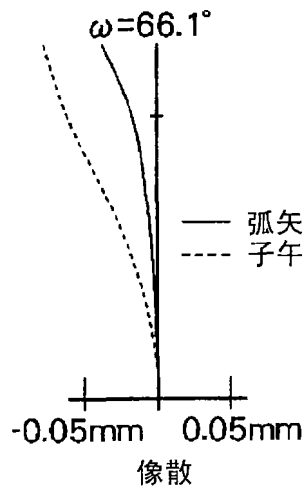
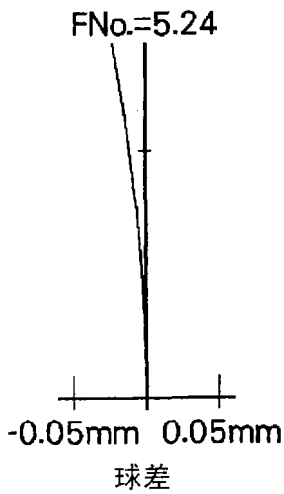
图 14

例 3-1

物体距离 10mm



物体距离 5.64mm



物体距离 36.3mm

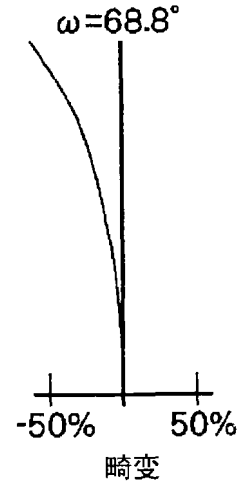
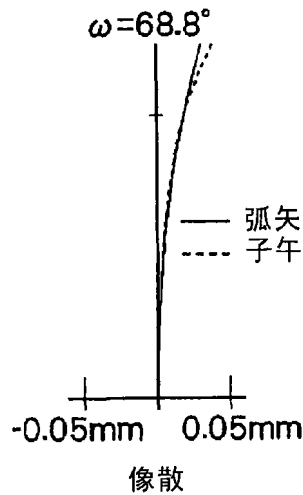
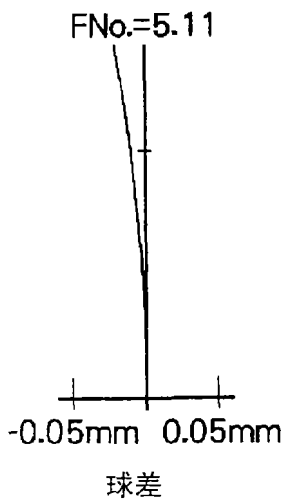
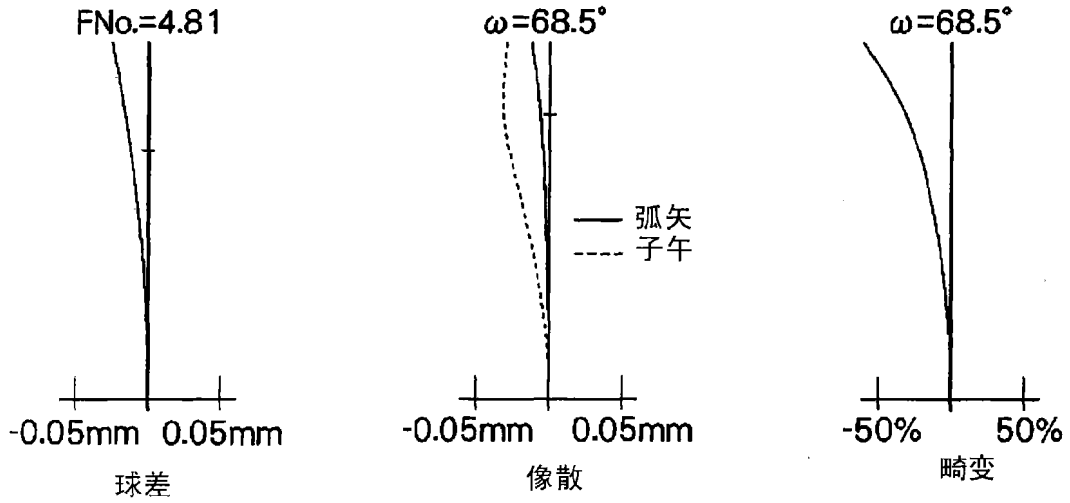


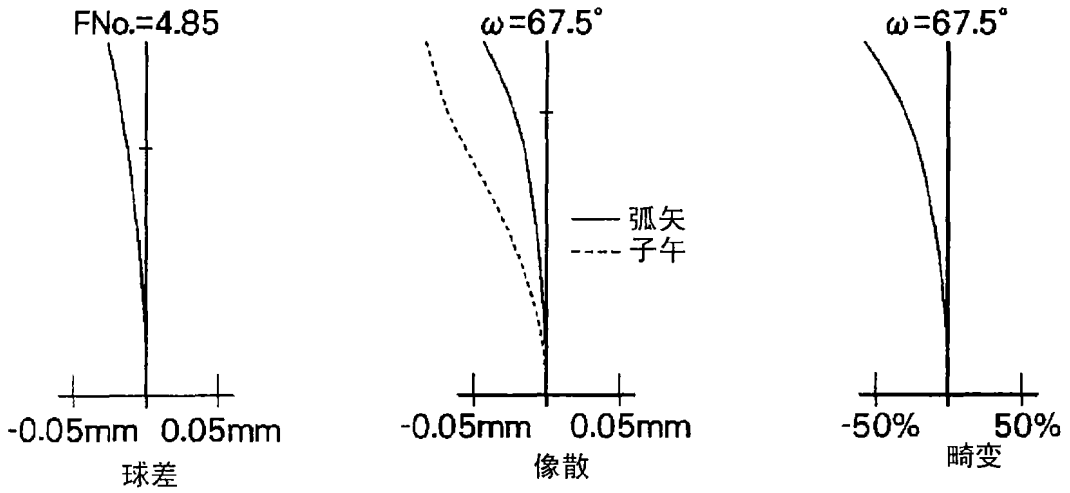
图 15

例 4 - 1

物体距离 10mm



物体距离 4.79mm



物体距离 4.13mm

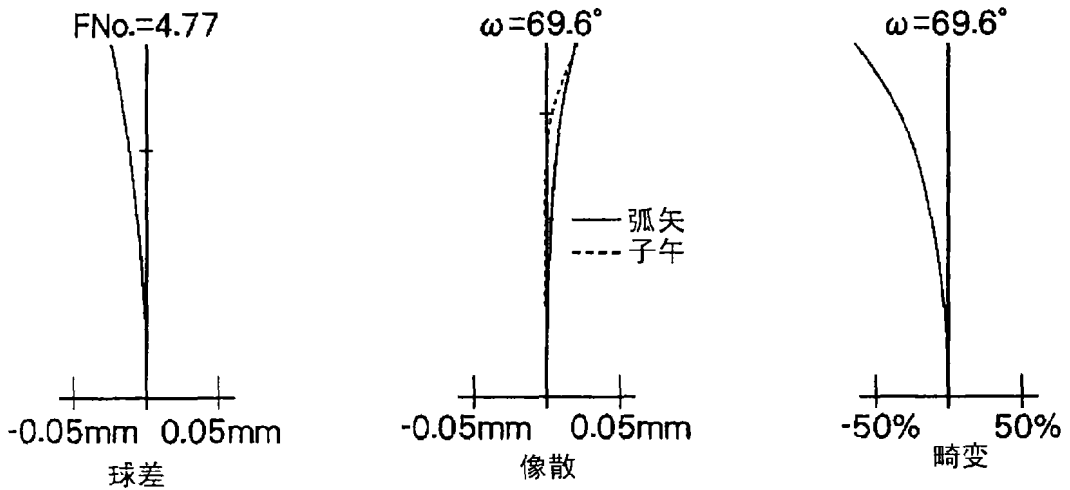
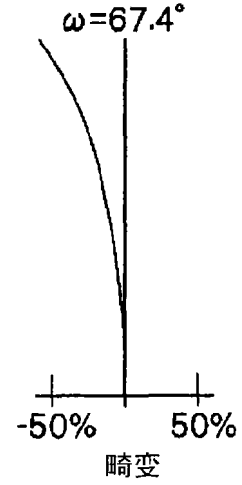
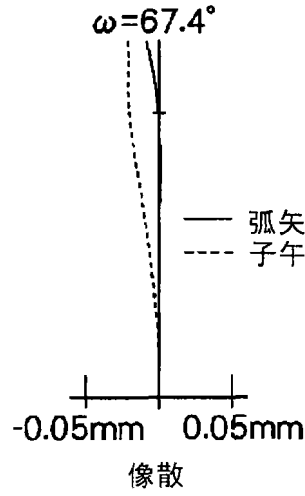
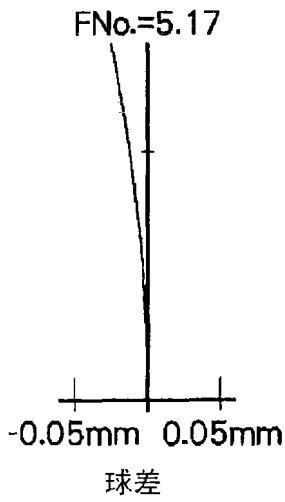


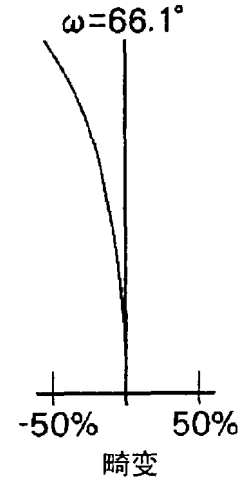
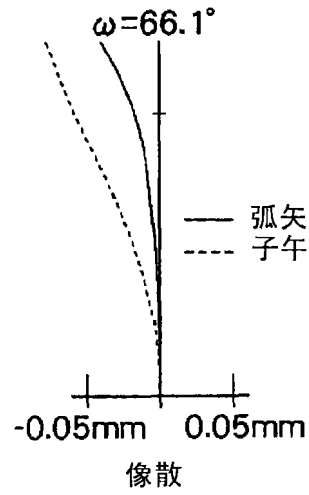
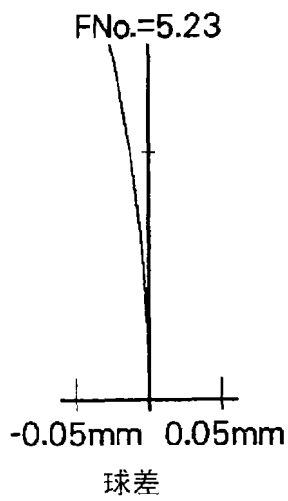
图 16

例 5 - 1

物体距离 10mm



物体距离 5.57mm



物体距离 38.5mm

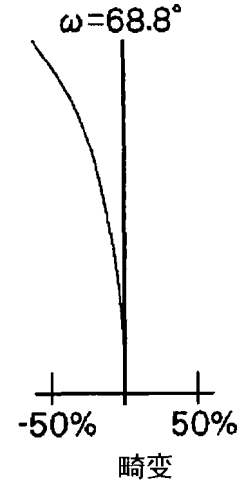
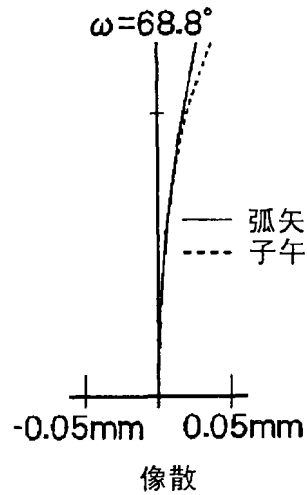
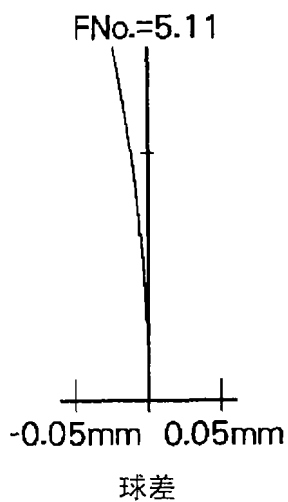
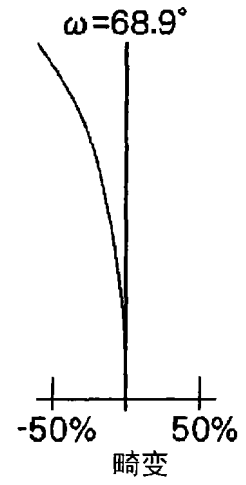
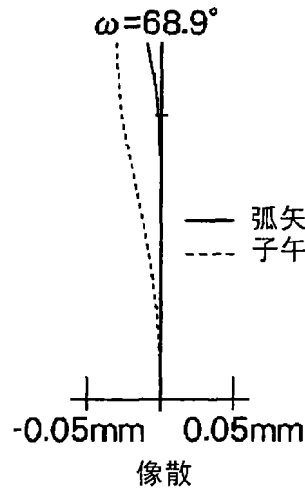
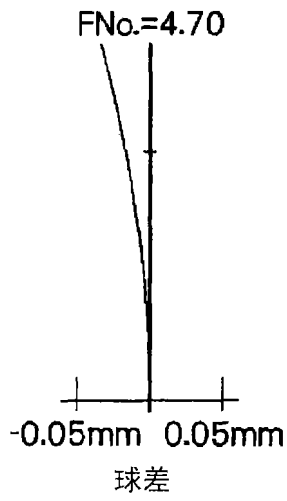


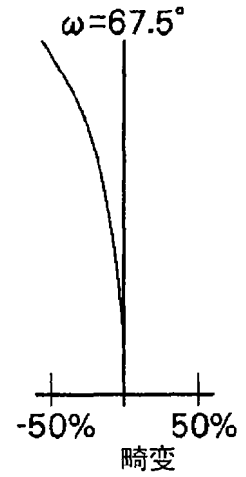
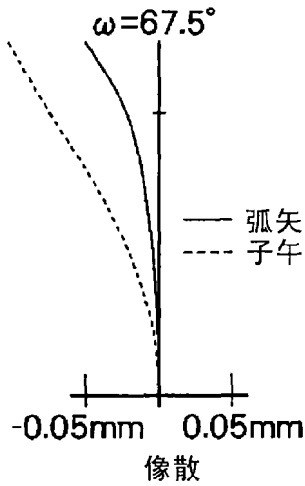
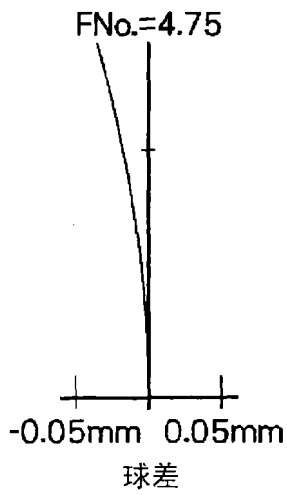
图 17

例 6 - 1

物体距离 8mm



物体距离 3.35mm



物体距离: ∞

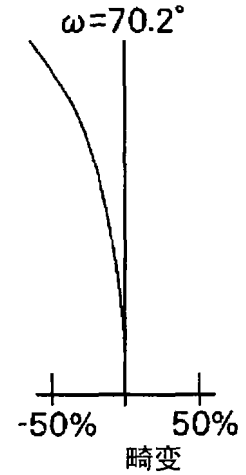
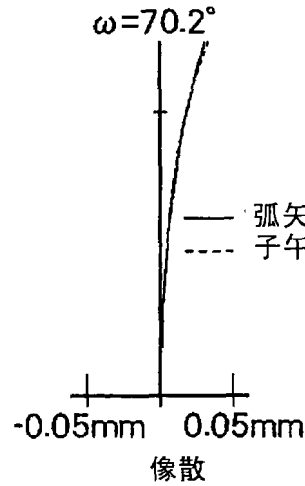
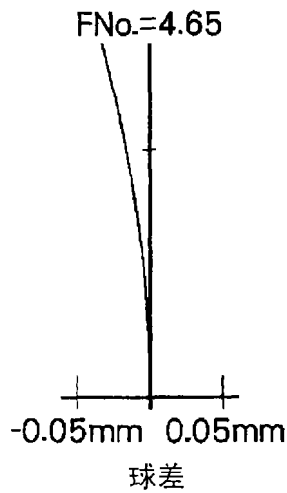
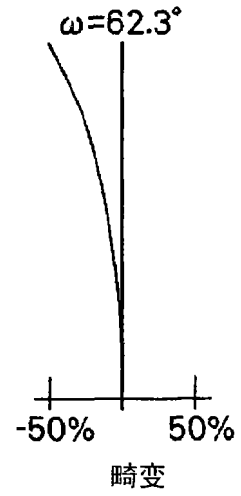
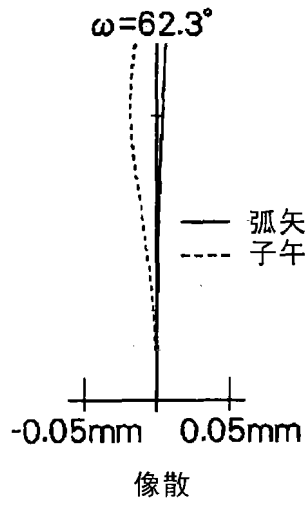
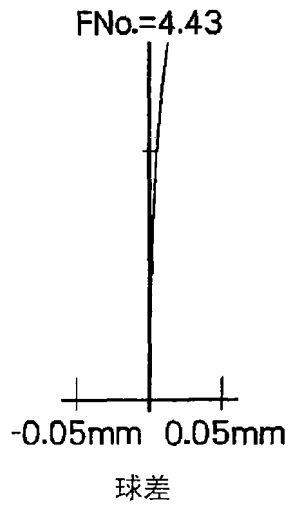


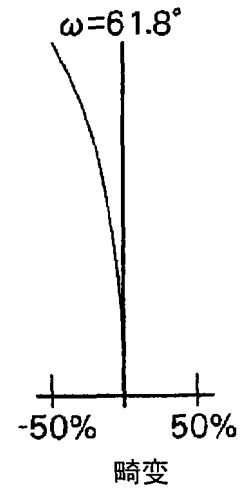
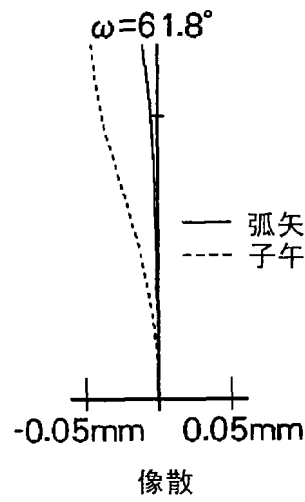
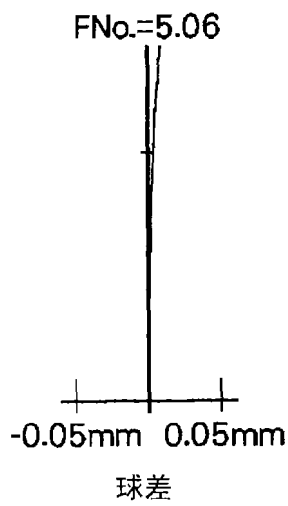
图 18

例 7-1

物体距离 7mm



物体距离 3.44mm



物体距离 90.1mm

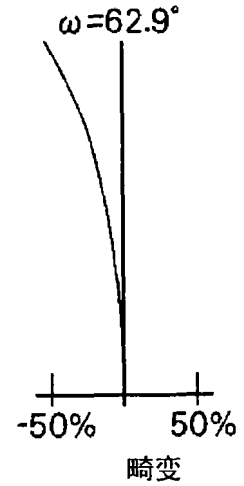
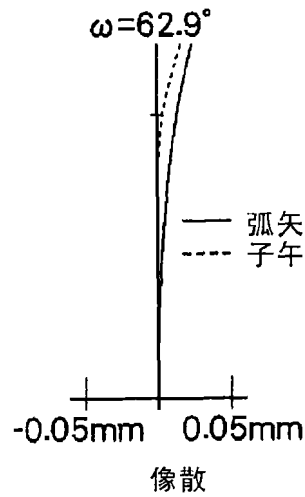
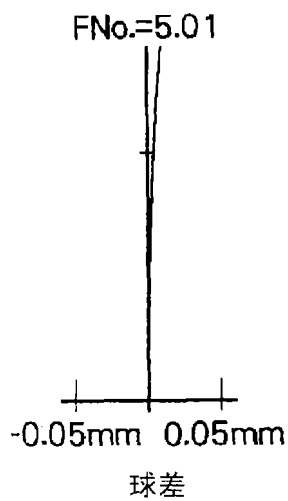


图 19

| | | | |
|----------------|--|---------|------------|
| 专利名称(译) | 摄像光学系统、内窥镜的摄像装置 | | |
| 公开(公告)号 | CN101396258A | 公开(公告)日 | 2009-04-01 |
| 申请号 | CN200810214945.8 | 申请日 | 2008-08-29 |
| [标]申请(专利权)人(译) | 富士写真光机株式会社 | | |
| 申请(专利权)人(译) | 富士能株式会社 | | |
| 当前申请(专利权)人(译) | 富士能株式会社 | | |
| [标]发明人 | 宫野俊 | | |
| 发明人 | 宫野俊 | | |
| IPC分类号 | A61B1/05 G02B23/24 | | |
| CPC分类号 | G02B23/243 | | |
| 代理人(译) | 李香兰 | | |
| 优先权 | 2007251111 2007-09-27 JP | | |
| 外部链接 | Espacenet SIPO | | |

摘要(译)

本发明提供一种摄像光学系统及内窥镜的摄像装置，其中，在摄像光学系统中，不使用调焦机构而即使物体位置变动也不产生像的极端恶化，可获得良好的图像。在内窥镜的插入部的前端部配设的摄像光学系统(1)中，将来自规定的物体位置(Po)的光通过摄像光学系统(1)所成像的位置设为成像位置(Pi)。在远点(Pf)配置物体时的成像位置(Pi)中的、由穿过光瞳直径百分之七十的直径的光线所产生的球差量(Zf)、在最大像高百分之八十的像高中的弧矢方向的场曲量(Sf)、在最大像高百分之八十的像高中的子午方向的场曲量(Tf)，以及在近点(Pn)配置物体时的成像位置(Pi)中的、由穿过光瞳直径百分之七十的直径的光线的球差量(Zn)、在最大像高百分之八十的像高中的弧矢方向的场曲量(Sn)、在最大像高百分之八十的像高中的子午方向的场曲量(Tn)均满足式(1)。 $-1.5 \leq ((Tf+Sf)/2-Zf) / ((Tn+Sn)/2-Zn) \leq 0.0 \dots (1)$

$$-1.5 \leq \frac{(Tf+Sf)/2-Zf}{(Tn+Sn)/2-Zn} \leq 0.0$$