

(12) 特許協力条約に基づいて公開された国際出願

(19) 世界知的所有権機関
国際事務局

(43) 国際公開日
2013年9月6日(06.09.2013)



(10) 国際公開番号

WO 2013/129337 A1

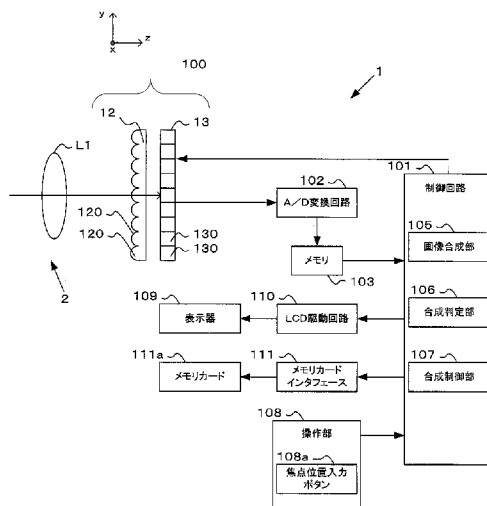
- (51) 国際特許分類:
H04N 5/232 (2006.01) H04N 5/225 (2006.01)
G06T 3/00 (2006.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2013/054819
- (22) 国際出願日: 2013年2月25日(25.02.2013)
- (25) 国際出願の言語: 日本語
- (26) 国際公開の言語: 日本語
- (30) 優先権データ:
特願 2012-041433 2012年2月28日(28.02.2012) JP
- (71) 出願人: 株式会社ニコン(NIKON CORPORATION)
[JP/JP]; 〒1008331 東京都千代田区有楽町一丁目
12番1号 Tokyo (JP).
- (72) 発明者: 岩根 透(IWANE, Toru); 〒1008331 東京
都千代田区有楽町一丁目12番1号 株式会社
ニコン内 Tokyo (JP).
- (74) 代理人: 永井 冬紀, 外(NAGAI, Fuyuki et al.); 〒
1000011 東京都千代田区内幸町2丁目2番2号
富国生命ビル 永井特許事務所 Tokyo (JP).
- (81) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の国内保
護が可能): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA,
BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN,
CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES,
FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN,
IS, KE, KG, KM, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS,
LT, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX,
MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH,
PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SC, SD, SE, SG, SK, SL,
SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG,
US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.
- (84) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の広域保
護が可能): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW,
MZ, NA, RW, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシ
ア (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), ヨーロッパ
(AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR,
GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT,

[続葉有]

(54) Title: IMAGE PROCESSING APPARATUS

(54) 発明の名称: 画像処理装置

【図1】



- 101 Control circuit
102 A/D converting circuit
103 Memory
105 Image combining unit
106 Combination determining unit
107 Combination control unit
108 Operation unit
108a Focal position input button
109 Display
110 LCD driving circuit
111 Memory card interface
111a Memory card

(57) Abstract: An image processing apparatus comprises: a plurality of microlenses two-dimensionally arranged such that a subject light having passed through an image-forming optical system is incident on the plurality of microlenses; a plurality of light receiving elements associated with the respective ones of the plurality of microlenses and arranged in the vicinity of a focal position behind the microlenses for receiving the subject lights having passed through the microlenses; an image combining unit for combining, on the basis of the outputs of the plurality of light receiving elements, images of focal planes different from a predetermined focal plane of the image-forming optical system; and a processing unit for performing a process that enhances, on the basis of, at least, both a target image as combined by the image combining unit, which is an image in the vicinity of the plurality of microlenses, and an auxiliary image that is an image outside the vicinity of the plurality of microlenses, the resolution of the target image.

(57) 要約: 画像処理装置は、結像光学系を透過した被写体光が入射するように二次元状に配列された複数のマイクロレンズと、複数のマイクロレンズの各々に対応してマイクロレンズの後側の焦点位置近傍に配置され、マイクロレンズを透過した被写体光を受光する複数の受光素子と、複数の受光素子の出力に基づいて、結像光学系の予定焦点面とは異なる焦点面の画像を合成する画像合成部と、画像合成部が合成した、少なくとも複数のマイクロレンズの近傍の画像である目的画像と、複数のマイクロレンズの近傍外の画像である補助画像とに基づいて、目的画像の解像度を高める処理を行う処理部と、を備える。

WO 2013/129337 A1



NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI 添付公開書類:

(BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, — 国際調査報告 (条約第 21 条(3))
NE, SN, TD, TG).

明 細 書

発明の名称：画像処理装置

技術分野

[0001] 本発明は、画像処理装置に関する。

背景技術

[0002] 従来から、1つのマイクロレンズに対応して複数の撮像素子を備え、1回の撮影により取得された画像データを撮影後に合成して、任意の焦点位置の画像を生成する撮像素子装置が知られている（たとえば、特許文献1、2、および非特許文献1）。

先行技術文献

特許文献

[0003] 特許文献1：日本国特開2007-4471号公報

特許文献2：米国特許出願公開第2007/0252047号明細書

非特許文献

[0004] 非特許文献1：Light Field Photography with a Handheld Plenoptic camera, Stanford tech report CTSR2005-02

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0005] しかしながら、マイクロレンズの配列数よりも多くの画素数で構成される任意の焦点位置の画像を生成する場合、マイクロレンズの頂点近傍において、生成される画像の解像度が大幅に低下するという問題がある。

課題を解決するための手段

[0006] 本発明の第1の態様によると、画像処理装置は、結像光学系を透過した被写体光が入射するように二次元状に配列された複数のマイクロレンズと、複数のマイクロレンズの各々に対応してマイクロレンズの後側の焦点位置近傍に配置され、マイクロレンズを透過した被写体光を受光する複数の受光素子

と、複数の受光素子の出力に基づいて、結像光学系の予定焦点面とは異なる焦点面の画像を合成する画像合成部と、画像合成部が合成した、少なくとも複数のマイクロレンズの近傍の画像である目的画像と、複数のマイクロレンズの近傍外の画像である補助画像とに基づいて、目的画像の解像度を高める処理を行う処理部と、を備える。

本発明の第2の態様によると、画像処理装置は、結像光学系を透過した被写体光が入射するように二次元状に配列された複数のマイクロレンズと、複数のマイクロレンズの各々に対応して当該マイクロレンズの後側の焦点位置近傍に配置され、当該マイクロレンズを透過した被写体光を受光する複数の受光素子と、複数の受光素子の出力に基づいて、結像光学系の予定焦点面とは異なる焦点面の画像を合成可能な画像合成部と、複数のマイクロレンズの頂点近傍の焦点面の画像である目的画像と、複数のマイクロレンズの頂点近傍以外の焦点面の画像である補助画像とが合成されるよう画像合成部を制御し、目的画像に補助画像の高周波成分を加算して出力する制御部と、を備える。

本発明の第3の態様によると、第2の態様の画像処理装置において、目的画像は、複数のマイクロレンズの頂点から、複数のマイクロレンズの焦点距離の2倍以上離れていない位置の焦点面の画像であることが好ましい。

本発明の第4の態様によると、第2または3の態様の画像処理装置において、補助画像は、複数のマイクロレンズの頂点から、複数のマイクロレンズの焦点距離の2倍以上離れている位置の焦点面の画像であることが好ましい。

本発明の第5の態様によると、第2～4のいずれか一態様の画像処理装置において、制御部は、互いに異なる焦点面に対応する複数の補助画像を画像合成部に合成させ、目的画像にそれら複数の補助画像の高周波成分を加算して出力することが好ましい。

本発明の第6の態様によると、第5の態様の画像処理装置において、制御部は、複数のマイクロレンズの焦点距離の2倍だけ、複数のマイクロレンズ

の頂点からその前後にそれぞれ離れた位置の焦点面の補助画像を画像合成部に合成させることが好ましい。

発明の効果

[0007] 本発明によれば、マイクロレンズの頂点近傍の焦点位置でも、高解像度の画像を合成することができる。

図面の簡単な説明

[0008] [図1]第1の実施の形態に係るデジタルカメラの構成を示す図である。

[図2]撮像ユニット100の斜視図である。

[図3]マイクロレンズアレイ12および撮像素子13を模式的に示した断面図である。

[図4]マイクロレンズアレイ12を被写体光の入射方向から見た模式図である。

[図5]合成画素 P_y を合成するために出力が積算される撮像素子130を示す図である。

[図6]合成画素 P_y を合成するために出力が積算される撮像素子130を示す図である。

[図7]格子122を、ピッチ g の4分の1だけ右方向にずらした図である。

[図8]ピッチ g の4分の1だけ格子122を右方向にずらした場合における、撮像素子130の積算パターンを示す図である。

[図9]画像合成処理のフローチャートである。

発明を実施するための形態

[0009] (第1の実施の形態)

本実施の形態のデジタルカメラは、マイクロレンズアレイを介して撮影することにより取得された画像信号が奥行き情報等の波面情報を有することを利用して、数値処理によってユーザが所望する焦点位置を有する画像データを生成する。撮影レンズを介して入射した被写体光束は、マイクロレンズアレイの近傍に結像する。このとき、被写体の位置に応じて光束が結像する位置は撮影レンズの光軸方向に異なるものとなり、さらに被写体が三次元物体

であれば被写体光束は同一平面上には結像しない。本実施の形態のデジタルカメラは、ユーザが所望する光軸方向の結像位置に結像する被写体の像を再現した画像を生成（合成）する。以下、この生成された画像を目的画像と称する。目的画像は、結像光学系の焦点があたかも当該結像位置（実際の結像位置ではなくユーザが所望する位置）にあるように見える。そこで、以下の説明において、この結像位置のことを焦点位置と呼ぶこととする。

[0010] さらに、本実施の形態のデジタルカメラは、上記の画像として、マイクロレンズアレイに含まれるマイクロレンズの数よりも大きな解像度を有する合成画像を生成可能に構成されている。すなわち、1つのマイクロレンズに対応して、合成画像の各画素となる画像信号を出力する撮像素素（受光素子）が複数個設けられている。そして、デジタルカメラは、ユーザが選択した焦点位置の合成画像となるように、1つのマイクロレンズに対応する撮像素素から出力された画像信号のみならず、その周辺のマイクロレンズに対応する撮像素素から出力された画像信号を用いて、合成画像の1画素分の結像領域に相当する合成画像信号を生成し、焦点位置を可変可能な合成画像を作成する。以下、詳細に説明する。

[0011] 図1は、第1の実施の形態に係るデジタルカメラの構成を示す図である。デジタルカメラ1は、例えばバヨネット式のレンズマウント機構等により、撮影レンズL1を有する交換レンズ2の着脱が可能に構成されている。デジタルカメラ1は、撮像ユニット100、制御回路101、A/D変換回路102、メモリ103、操作部108、表示器109、LCD駆動回路110およびメモ리카ードインタフェース111を備える。撮像ユニット100は、多数のマイクロレンズ120が二次元状に配列されたマイクロレンズアレイ12および撮像素子13を備える。なお、以下の説明においては、Z軸が撮影レンズL1の光軸に平行となるように設定され、Z軸と直交する平面内でX軸とY軸とが互いに直交する方向に設定されているものとする。

[0012] 撮影レンズL1は、複数の光学レンズ群から構成され、被写体からの光束をその焦点面近傍に結像する。なお、図1では撮影レンズL1を説明の都合

上1枚のレンズで代表して表している。撮影レンズL1の焦点面近傍に、マイクロレンズアレイ12と撮像素子13とが順に配置される。撮像素子13は、複数の光電変換素子を備えたCCDやCMOSイメージセンサによって構成される。撮像素子13は、撮像面上に結像されている被写体像を撮像し、制御回路101により制御されて被写体像に応じた光電変換信号（画像信号）をA/D変換回路102へ出力する。なお、撮像ユニット100の詳細については説明を後述する。

[0013] A/D変換回路102は、撮像素子13が出力する画像信号にアナログ的な処理をしてからデジタル画像信号に変換する回路である。制御回路101は、CPUやメモリその他の周辺回路によって構成される。制御回路101は、不図示のROM等に予め格納されている制御プログラムを読み出して実行する。この制御プログラムにより、制御回路101は、デジタルカメラ1を構成する各部から入力される信号を用いて所定の演算を行い、デジタルカメラ1の各部に対する制御信号を送出して、撮影動作を制御する。また、制御回路101は、後述するように焦点位置入力ボタン108aの操作に応じて操作部108から入力した操作信号に基づいて目的画像の焦点位置を決定する。

[0014] 制御回路101は、画像合成部105、合成判定部106、および合成制御部107を機能的に備える。画像合成部105は、撮影レンズL1の予定焦点面とは異なる任意の焦点面の画像を合成する。合成判定部106は、操作部108から入力された焦点位置が、合成画像の解像力が低下する所定範囲（後述）内か否かを判定する。合成制御部107は、合成判定部106の判定に基づき画像合成部105を制御して合成画像を作成させ、最終的な画像を出力する。なお、画像合成部105、合成判定部106、および合成制御部107については詳細を後述する。

[0015] メモリ103は、A/D変換回路102によりデジタル変換された画像信号や、画像処理、画像圧縮処理および表示用画像データ作成処理の途中や処理後のデータを一時的に格納するために使用される揮発性の記憶媒体である

。メモリカードインタフェース１１１は、メモリカード１１１ａの着脱が可能なインタフェースである。メモリカードインタフェース１１１は、制御回路１０１の制御に応じて、画像データをメモリカード１１１ａに書き込んだり、メモリカード１１１ａに記録されている画像データを読み出すインタフェース回路である。メモリカード１１１ａは、例えばコンパクトフラッシュ（登録商標）やＳＤカードなどの半導体メモリカードである。

[0016] ＬＣＤ駆動回路１１０は、制御回路１０１の命令に基づいて表示器１０９を駆動する回路である。表示器１０９は液晶パネル等により構成され、再生モードにおいてメモリカード１１１ａに記録されている画像データに基づいて制御回路１０１で作成された表示データの表示を行う。また、表示器１０９には、デジタルカメラ１の各種動作を設定するためのメニュー画面が表示される。

[0017] 操作部１０８は、ユーザの操作を受け付けて、操作内容に応じた各種の操作信号を制御回路１０１へ出力する。操作部１０８は、焦点位置入力ボタン１０８ａ、電源ボタン、リリースボタン、その他の設定メニューの表示切換ボタン、設定メニュー決定ボタン等を含む。焦点位置入力ボタン１０８ａは合成画像の焦点位置 y を入力する際にユーザにより操作される。ユーザにより焦点位置入力ボタン１０８ａが操作され焦点位置 y が選択されると、操作部１０８はその焦点位置 y を含む操作信号を制御回路１０１へ出力する。

[0018] 次に、撮像ユニット１００の構成について、図２に示した撮像ユニット１００の斜視図を用いて詳細に説明する。撮像ユニット１００はマイクロレンズアレイ１２と撮像素子１３とを有する。マイクロレンズアレイ１２は、 X Y 平面上に二次元状に正方配列された複数のマイクロレンズ１２０を有する。撮像素子１３には、各マイクロレンズ１２０を通過した光を受光する光電変換素子１３０（以下、撮像画素１３０と呼ぶ）が、マイクロレンズ１２０に対応した配置パターンで二次元状に配列されている。撮像素子１３は、マイクロレンズアレイ１２から、マイクロレンズ１２０の焦点距離 f だけ離れた位置に配置されている。つまり、各マイクロレンズ１２０について、当該

マイクロレンズ１２０に対応する複数の撮像素素１３０が、当該マイクロレンズ１２０の焦点距離 f だけ離れた位置に設けられている。

[0019] なお図２には、マイクロレンズアレイ１２に設けられた複数のマイクロレンズ１２０と、撮像素子１３に設けられた複数の撮像素素１３０のうち、その一部のみを図示している。実際には、より多数のマイクロレンズ１２０および撮像素素１３０が存在している。例えば、１つのマイクロレンズ１２０にはおよそ１００程度の撮像素素１３０が被覆されており、従ってマイクロレンズアレイ１２は撮像素子１３が有する撮像素素１３０の数のおよそ１０分の１程度の数のマイクロレンズ１２０を有している。

[0020] 例えば撮影レンズL 1の焦点距離が50ミリメートルとすると、マイクロレンズ120の焦点距離fは数百マイクロメートル程度（撮影レンズL 1の焦点距離の100分の1程度）であるため、撮像素子13から見ると、撮影レンズL 1のいわゆる射出瞳の位置は、マイクロレンズ120にとってほぼ無限遠と見なすことができる。つまり、撮影レンズL 1の射出瞳の位置と撮像素子13の撮像素面は、光学的に共役とすることができる。

[0021] なお以下では、説明の簡単のため、マイクロレンズ120のF値と撮影レンズL1のF値は同一であるものとする。この場合、マイクロレンズ120により被覆される撮像素子130全体の領域が、撮影レンズL1の射出瞳全体を投影したものとなる。このように構成された撮像素子130の撮像素子面には、マイクロレンズ120で区分される像の、撮影レンズL1の射出瞳の位置での光強度分布が示される。

[0022] 本実施形態の制御回路101は、マイクロレンズ120の焦点距離 f の前後2倍程度の位置($+2f$ 、 $-2f$)の像について合成画像データを生成し、それら2つの合成画像データをメモリ103に格納する。以下、実空間で行われる画像合成の原理について説明する。なお画像合成は、撮像素子13から出力された画像信号をフーリエ変換したフーリエ空間で行ってもよい。

[0023] まず、各々のマイクロレンズ120につき1つの画素を合成する合成画像の作成原理について説明する。図3は、マイクロレンズアレイ12および撮

像素子 120 3 を模式的に示した断面図である。以下、図 3 に示したマイクロレンズ 120 a ～ 120 e のうち、中央のマイクロレンズ 120 c と、所定位置の像面 S における合成画素のうち、マイクロレンズ 120 c の中心軸 C X 上の合成画素 P x とを考える。図 3 (a) には、合成対象の像面 S がマイクロレンズ 120 c の頂点近傍に位置する場合を示している。図 3 (a) から明らかなように、合成対象の像面 S がマイクロレンズ 120 c の焦点距離 f よりも近い位置にある場合、合成画素 P x を構成する光束はマイクロレンズ 120 c のみを通過し、他のマイクロレンズ 120 a、120 b、120 d、120 e には到達しない。

[0024] 他方、図 3 (b) に示すように、合成画像の像面 S がマイクロレンズ 120 c の頂点近傍から焦点距離 f より離れた場所に位置する場合、合成画素 P x を構成する光束は複数のマイクロレンズに入射する。ここで、図 3 (b) に示すように、マイクロレンズ 120 a ～ 120 e の焦点距離を f、マイクロレンズ 120 a ～ 120 e 同士の間隔を d、合成対象の像面からマイクロレンズ 120 a ～ 120 e の頂点までの距離を y、特定のマイクロレンズを透過した光束が入射する撮像素子 120 3 上の位置を当該マイクロレンズ中心からの距離で表したものを x とすると、それらの値の間には次式 (1) のような比例関係がある。

$$y / (n d) = f / x \quad \cdots (1)$$

[0025] ここで n は、合成画素 P x に対応するマイクロレンズ 120 c からいくつだけ離れたマイクロレンズに上記光束が入射するかを表す無次元数であり、n = 1 はそれがマイクロレンズ 120 c に隣接するマイクロレンズ 120 b、120 d であることを表す。上式 (1) において、焦点距離 f およびマイクロレンズ 120 c の間隔 d は定数なので、焦点位置 y とマイクロレンズ中心からの距離 x とを決めれば、合成画素 P x からの光束がどのマイクロレンズに入射するのかが判明する。ここで n は整数であり、離散的な値を採るので、n は $y x / (f d)$ の整数部分ということになる。マイクロレンズ 120 c の中心軸 C X 上であって、マイクロレンズ 120 c の頂点から距離 y だ

け離れた位置の合成画素は、上式（１）を満たす位置の撮像素素１３０の出力を積算したものである。すなわち、距離 x の位置の光の強度（撮像素素１３０の出力）を $I(x)$ とすれば、合成画素 P の画素値 P は、次式（２）により算出することが可能である。

[0026] [数1]

$$P = \int_{-d/2}^{d/2} I(x) dx = \sum_{x=-d/2}^{d/2} I(x) \quad \dots(2)$$

[0027] なお、上式（２）の x は複数のマイクロレンズに対応する範囲の値を採り、各値がどのマイクロレンズに属するのかは上式（１）により決まる。

[0028] 次に、以上の考え方を二次元に拡張する。図４は、マイクロレンズアレイ１２を被写体光の入射方向から見た模式図である。いま図４に示すように、マイクロレンズ１２０ j を区分する格子１２２を考える。この格子１２２のピッチ g は、合成される像の位置（焦点位置 y ）により決まる。例えば、焦点位置 y がマイクロレンズ１２０の焦点距離 f の４倍とすれば、格子１２２のピッチ g は図４に示すようにマイクロレンズ１２０同士の間隔 d の４分の１となる。

[0029] この格子１２２は、マイクロレンズ１２０ j の中心 O に対応する１つの合成画素 P_y が、どの撮像素素１３０の出力を積算することにより合成されるのかを表している。以下、この点について図５を用いて説明する。格子１２２は、合計２５個の矩形の区画により構成されている。これは、合成画素 P_y が、これら２５個の区画の各々に対応する撮像素素１３０の出力を積算することにより合成されることを表している。

[0030] 格子１２２内における各区画の位置（中心 O からの相対位置）は、その区画が、マイクロレンズ１２０ j を中心としてどのマイクロレンズ１２０に被覆されている撮像素素１３０に対応しているかを表している。以下、図５を用いてこの点を説明する。図５（ａ）の左側にはマイクロレンズ１２０ j の拡大図が、図５（ａ）の右側にはマイクロレンズ１２０ j を中心としてその周囲のマイクロレンズがそれぞれ示されている。ここで、区画１４０ j は、

マイクロレンズ 120 j に被覆されている撮像素子 130 のうち、格子 122 内の区画 140 j に相当する範囲の撮像素子 130 j に対応している。

[0031] また、図 5 (b) に示すように、区画 140 j の上辺に隣接する区画 140 g は、マイクロレンズ 120 j の上辺に隣接するマイクロレンズ 120 g に被覆されている撮像素子 130 のうち、格子 122 内の区画 140 g に相当する範囲の撮像素子 130 g に対応している。マイクロレンズ 120 j の中心 O に対応する 1 つの合成画素は、このようにして特定される 25 個の範囲の撮像素子 130 の出力を積算したものである。これら 25 個の範囲を、図 5 (c) に示す。このように、焦点位置 y がマイクロレンズ 120 の焦点距離 f の 4 倍である場合、マイクロレンズ 120 j の中心 O に対応する 1 つの合成画素は、マイクロレンズ 120 j およびその周辺の 24 個のマイクロレンズ 120 により被覆される撮像素子 130 の出力を積算することにより合成され、その撮像素子 130 の位置は図 5 (c) に示す通りである。

[0032] まとめて、マイクロレンズ 120 に被覆される N 個の撮像素子 130 が存在し、これらの撮像素子 130 のマイクロレンズ 120 内での位置を当該マイクロレンズ 120 の中心を基準として i, j を用いた座標で表し、座標 i, j の撮像素子 130 が近辺のどのマイクロレンズ 120 に所属するか (対応するか) を p, q を用いた座標で表すと、n = 1 ~ N の N 個の合成画素を合成する積算は次式 (3) ~ (7) により表される。

[0033] [数2]

$$i = \phi x(n) \quad \dots(3)$$

$$j = \phi y(n) \quad \dots(4)$$

$$p = \eta x(i, j) \quad \dots(5)$$

$$q = \eta y(i, j) \quad \dots(6)$$

$$P_{xy} = \sum_{n=1}^N I(\phi x(n), \phi y(n), x + \eta x(\phi x(n), \phi y(n)), y + \eta y(\phi x(n), \phi y(n))) \quad \dots(7)$$

[0034] ここで、式 (5) および (6) における関数 ηx 、 ηy を決定するのが、上述した格子 122 による撮像素子 130 の撮像素子の区分である。格子 122 のピッチ g は、焦点位置 y がマイクロレンズ 120 の頂点から離れるほど小さくなり、マイクロレンズ 120 の焦点距離 f と焦点位置 y とが一致すると

き、ピッチ g はマイクロレンズ 120 の間隔 d と一致する。なお、焦点位置 $y = -4f$ の場合、撮像素子 130 の積算パターンは図 6 のようになる。

[0035] 以上が、各々のマイクロレンズ 120 につき 1 つの画素を合成した合成画像の作成原理である。上記処理によれば、マイクロレンズ 120 の中心に対応する位置の合成画素が合成されるが、これではマイクロレンズ 120 の数と同じだけの画素数しか合成されないため、合成画像の解像度はマイクロレンズ 120 の個数に等しくなってしまう。例えばマイクロレンズ 120 により被覆される撮像素子 130 の画素数を 100 とすると、解像力は撮像素子 13 の本来の解像力の 100 分の 1 になってしまう。仮に撮像素子 13 が 1000 万画素の撮像素子であれば、合成画像は 10 万画素となり、十分な解像力を得られない。

[0036] そこで本実施形態では、マイクロレンズ 120 の中心以外の位置に合成画像の画素を設定し、当該画素を合成するための撮像素子 130 の積算パターンを生成する。画像合成部 105 は、この積算パターンに従って撮像素子 130 の出力を積算することにより、1 つのマイクロレンズ 120 に対して複数の画素を合成する。以下、この合成方法について述べる。前述の通り、格子 122 のピッチ g (マイクロレンズ 120 が被覆する領域を分割する格子の倍率) は、焦点位置 y を表している (対応している)。つまり、合成画素の光軸方向の位置が、格子 122 のピッチ g と対応している。他方、光軸と垂直な方向の位置は、いわば格子 122 の位相と対応しており、格子 122 の基準位置を変更することによりマイクロレンズ 120 の中心以外の位置の合成画素を合成することが可能となる。

[0037] 以下では一例として、マイクロレンズ 120 を 4×4 の 16 領域に分割し、各領域に対応する画素を合成する方法を説明する。つまり、マイクロレンズ 120 の中心 0 に対応する合成画素を合成する代わりに、16 領域の各々について当該領域の中心に対応する合成画素を合成する方法を説明する。

[0038] 図 7 は、格子 122 を、ピッチ g の 4 分の 1 だけ右方向にずらした図である。このように格子 122 をずらし、図 5 (a) ~ (c) と同様に積算パタ

ーンを求めたものが図8 (a) ~ (c) である。図8 (c) に示した各撮像画素130の出力を積算することにより、マイクロレンズ120の中心Oからピッチgの4分の1だけ右方向にずれた位置の合成画素を合成することができる。同様に、格子122を上下方向および左右方向に4分の1ずつずらして積算パターンを導出することにより、マイクロレンズ120内の16点の合成画素を合成することができる。即ち、原理的にはマイクロレンズ120の数を16倍した画素数の合成画像を得ることができる。

[0039] ところで、上述した方法により1つのマイクロレンズ120毎に複数の画素を合成する場合、焦点位置 y によっては十分な解像力が得られない場合がある。具体的には、マイクロレンズ120の焦点距離を f としたとき、焦点位置 y が $+2f \sim -2f$ の範囲において、この範囲の外側に焦点位置 y を置いた場合に比べて解像力が低下する。これは、そのような位置に焦点位置 y を設定した場合、上述した撮像画素130の積算パターンのバリエーションが減少し、その幾つかが同一のものになってしまうためである。

[0040] つまり、例えば上述したように1つのマイクロレンズ120当たり16個の合成画素を合成するとき、焦点位置 y が $+2f \sim -2f$ の範囲に設定された場合には、それらの合成画素のうちいくつかは同一の出力になってしまう。解像力は焦点位置 y がマイクロレンズ120の頂点に近いほど低下し、特に焦点位置 y がちょうどマイクロレンズ120の頂点に置かれた場合（焦点位置 $y = 0$ の場合）には、目的画像の画素数（解像力）はマイクロレンズ120の数と等しくなる。すなわち、上述したように1つのマイクロレンズ120について16個の合成画素を合成する場合、それら16個の合成画素が全て同一になってしまう。

[0041] そこで本実施形態のデジタルカメラは、ユーザにより設定された焦点位置 y が $-2f \sim +2f$ の範囲内であった場合、目的画像とは別に、設定された焦点位置 y 以外の焦点面の画像（以下の説明において補助画像と称する）を合成し、この画像を用いて目的画像の解像力を向上させる。以下、本実施形態のデジタルカメラによる画像合成処理について説明する。

[0042] 図9は画像合成処理のフローチャートである。制御回路101は所定の制御プログラムを実行することにより、この画像合成処理を実行する。まずステップS100では合成制御部107が、操作部108から入力される焦点位置 y を受け付ける。ステップS110では合成判定部106が、入力された焦点位置 y が $-2f$ と $+2f$ の間か否かを判定する。入力された焦点位置 y がこの範囲の外側であった場合、処理はステップS170に進み、合成制御部107が画像合成部105を制御し、画像合成部105に上述の手法による通常通りの画像合成（1つのマイクロレンズ120につき複数の画素を合成する画像合成）を行わせ、目的画像を出力する。制御回路101は、ステップS170において合成制御部107から出力された目的画像を、例えばメモリカード111aに格納したり、表示器109に表示したりする。他方、合成判定部106により、入力された焦点位置 y が $-2f$ と $+2f$ の間であると判定された場合、ステップS120に進む。

[0043] ステップS120では、合成制御部107が画像合成部105を制御し、画像合成部105に $-2f$ の焦点位置の画像（1つ目の補助画像）を合成させる。以下、ここで合成された $-2f$ の位置に相当する補助画像をP1と称する。続くステップS130では、ステップS120と同様に、合成制御部107が画像合成部105を制御し、画像合成部105に $+2f$ の焦点位置の画像（2つ目の補助画像）を合成させる。以下、ここで合成された $+2f$ の位置に相当する補助画像をP2と称する。補助画像P1、P2は、それぞれメモリ103に記憶される。

[0044] ステップS140では、合成制御部107が画像合成部105を制御し、画像合成部105にマイクロレンズ120の頂点の位置の画像（つまり、焦点位置 $y=0$ の補助画像）を合成させてメモリ103に記憶させる。以下、この3つ目の補助画像をP0と称する。補助画像P0は、前述の通り、マイクロレンズ120の数以上の解像力を持たない、低い空間周波数から成る画像である。ステップS150では、合成制御部107が画像合成部105を制御し、ステップS100において操作部108から入力された焦点位置 y

に基づいて、画像合成部 105 に通常の画像合成を行わせる。以下、ここで合成される目的画像を P3 と称する。目的画像 P3 は、 $-2f \sim +2f$ の範囲に位置する像面（焦点面）の合成画像であるので、前述の通り解像力がある程度失われている。

[0045] ステップ S160 では、合成制御部 107 が、ステップ S150 で合成された目的画像 P3 の各画素について、次式（8）に示した演算を行い、最終的な目的画像 P を作成して出力する。

[0046] [数3]

$$P(i, j) = \left(\left(\frac{y+2f}{4f} \right) P_1(i, j) + \left(\frac{2f-y}{4f} \right) P_2(i, j) - P_0(i, j) \right) + P_3(i, j) \quad \dots(8)$$

[0047] 上式（8）において、 $P_0(i, j)$ は補助画像 P0 の座標 (i, j) の合成画素を表す。 $P_1(i, j)$ 、 $P_2(i, j)$ 、 $P_3(i, j)$ についても同様に、それぞれ補助画像 P1、補助画像 P2、目的画像 P3 の座標 (i, j) の合成画素を表す。上式（8）の右辺の 1 つ目の項は、 $-2f$ の位置の補助画像および $+2f$ の位置の補助画像から得られる空間周波数の高周波成分を表しており、合成制御部 107 はこの成分をある程度解像力が失われている目的画像 P3 に加算することにより、最終的な目的画像 P を合成している（目的画像 P3 の解像力を高めている）。

[0048] 上述した第 1 の実施の形態によるデジタルカメラによれば、次の作用効果が得られる。

（1）デジタルカメラ 1 は、撮影レンズ L1 を透過した被写体光が入射するように二次元状に配列された複数のマイクロレンズ 120 と、複数のマイクロレンズ 120 の各々に対応して当該マイクロレンズ 120 の後側の焦点位置近傍に配置され、当該マイクロレンズ 120 を透過した被写体光を受光する複数の撮像素素 130 とを備える。画像合成部 105 は、それら複数の撮像素素 130 の出力に基づいて、撮影レンズ L1 の予定焦点面とは異なる焦点面の画像を合成可能に構成されている。合成制御部 107 は、複数のマイクロレンズ 120 の頂点近傍の焦点面の画像である目的画像と、複数のマイ

クロレンズ 120 の頂点近傍以外の焦点面の画像である補助画像とが合成されるよう画像合成部 105 を制御し、目的画像に補助画像の高周波成分を加算して出力する。このようにしたので、合成画像の解像力が低下する焦点位置であっても、高解像度の画像を合成することができる。

[0049] (2) 複数のマイクロレンズ 120 の頂点から、複数のマイクロレンズ 120 の焦点距離 f の 2 倍以上離れていない位置が焦点面として入力された場合、合成制御部 107 は目的画像 P3 に高周波成分を加算する。このようにしたので、任意の焦点位置で、高解像度の画像を合成することができる。

[0050] (3) 補助画像 P0 および P1 を、複数のマイクロレンズ 120 の頂点から、複数のマイクロレンズ 120 の焦点距離 f の 2 倍以上離れている位置の焦点面の画像とした。このようにしたので、補助画像 P0 および P1 は高周波成分を確実に含む画像となり、目的画像 P3 へ高周波成分を確実に加算することができる。

[0051] (4) 合成制御部 107 は、互いに異なる焦点面（複数のマイクロレンズ 120 の焦点距離 f の 2 倍だけ、複数のマイクロレンズ 120 の頂点からその前後にそれぞれ離れた位置の焦点面）に対応する複数の補助画像 P1、および P2 を画像合成部 105 に合成させ、目的画像 P3 にそれら複数の補助画像 P1、および P2 の高周波成分を加算して出力する。このようにしたので、高周波成分をより精度よく加算することができる。

[0052] 次のような変形も本発明の範囲内であり、変形例の一つ、もしくは複数を上述の実施形態と組み合わせることも可能である。

[0053] (変形例 1)

上述した式 (8) による画像合成において、焦点位置 y がちょうど $-2f$ または $+2f$ の位置である合成画像は、その前後の位置の合成画像に比べて空間周波数に大きな差がある。従って、例えば一定の間隔を持って広い範囲に設定された多数の焦点位置 y について合成画像を合成し表示する場合に、上記の 2 つの位置において解像力が急激に変化し、閲覧者に違和感を覚えさせてしまう。このような解像力の変化を穏やかにするために、式 (8) を変

形し、次式（９）により画像合成を行ってもよい。

[0054] [数4]

$$P(i, j) = \left(1 - \left|\frac{y}{2f}\right|\right) \left(\left(\frac{y+2f}{4f}\right) P_1(i, j) + \left(\frac{2f-y}{4f}\right) P_2(i, j) - P_0(i, j) \right) + P_3(i, j) \quad \dots(9)$$

[0055] 式（８）を上記のように変更することにより、例えば合成画像の表示中に当該画像の焦点位置 y を $+2f$ から $+2f - \varepsilon$ に変更する場合であっても、画像の解像力が急激に変化することがなくなる。これにより、閲覧者に違和感を覚えさせることなく焦点位置 y を変化させることが可能となる。

[0056] （変形例２）

焦点位置 y の入力に応じてリアルタイムに画像合成を行い、合成画像の表示等を行う場合、予め考えられる全焦点位置範囲で離散的な焦点位置の列を決めておき、これらについて事前に画像合成を行っておいてもよい。例えば焦点位置 y の範囲を ± 6 ミリメートル、マイクロレンズ 120 の焦点距離 f を 300 マイクロメートルとしたとき、 $-20f$ 、 $-19f$ 、 $\dots$ 、 $-f$ 、 0 、 f 、 $2f$ 、 $\dots$ 、 $20f$ の 41 点について画像合成を予め行い、メモリ 103 に格納する。このようにすることで、合成画像の表示時における制御回路 101 の処理負荷を低減することができる。

[0057] （変形例３）

第１の実施の形態では、目的画像 P_3 の解像力を高めるため、２つの補助画像 P_1 、 P_2 から高周波成分を取り出して目的画像 P_3 に加算していた。本発明はこのような実施形態に限定されない。例えば、補助画像 P_1 からのみ高周波成分を取り出し、目的画像 P_3 に加算する構成とした場合であっても、目的画像 P_3 の解像力を高めることが可能である。また、２つの補助画像 P_1 、 P_2 から高周波成分を取り出すために、低周波成分のみからなる補助画像 P_0 を利用していたが、これ以外の方法により補助画像 P_1 （および／または P_2 ）から高周波成分を取り出してもよい。

[0058] （変形例４）

補助画像 P_1 、 P_2 の焦点面の位置は、それぞれ $-2f$ と $+2f$ 以外の位

置であってもよい。マイクロレンズ120の頂点から、少なくともマイクロレンズ120の焦点距離 f の2倍以上離れていれば、目的画像P3に加算する高周波成分を取り出すことができる。

[0059] (変形例5)

上述した実施形態では、マイクロレンズアレイ12における各マイクロレンズ120の配列を正方配列としたが、本発明はこのような配列に限定されない。例えば、各マイクロレンズ120を略六角形にし、ハニカム状に配列してもよい。

[0060] (変形例6)

第1の実施の形態では、本発明をデジタルカメラに適用した例について説明したが、本発明はこのような実施形態に限定されるものではない。例えば、撮像ユニット100からの出力信号が入力されると、解像力の高い目的画像を出力する画像処理装置に対して本発明を適用することも可能である。この場合、画像処理装置自体は撮像ユニット100を備えていなくてもよい。また、撮像ユニット100からの出力信号（撮像素子13からの出力信号）は、例えばメモリーカード等の可搬性の記憶媒体に格納して入力してもよいし、電気通信回線等を介して入力してもよい。

[0061] 本発明の特徴を損なわない限り、本発明は上記実施の形態に限定されるものではなく、本発明の技術的思想の範囲内で考えられるその他の形態についても、本発明の範囲内に含まれる。

[0062] 次の優先権基礎出願の開示内容は引用文としてここに組み込まれる。

日本国特許出願2012年第41433号（2012年2月28日出願）

請求の範囲

- [請求項1] 結像光学系を透過した被写体光が入射するように二次元状に配列された複数のマイクロレンズと、
- 前記複数のマイクロレンズの各々に対応して前記マイクロレンズの後側の焦点位置近傍に配置され、前記マイクロレンズを透過した前記被写体光を受光する複数の受光素子と、
- 前記複数の受光素子の出力に基づいて、前記結像光学系の予定焦点面とは異なる焦点面の画像を合成する画像合成部と、
- 前記画像合成部が合成した、少なくとも前記複数のマイクロレンズの近傍の画像である目的画像と、前記複数のマイクロレンズの近傍外の画像である補助画像とに基づいて、前記目的画像の解像度を高める処理を行う処理部と、
- を備える画像処理装置。
- [請求項2] 結像光学系を透過した被写体光が入射するように二次元状に配列された複数のマイクロレンズと、
- 前記複数のマイクロレンズの各々に対応して当該マイクロレンズの後側の焦点位置近傍に配置され、当該マイクロレンズを透過した前記被写体光を受光する複数の受光素子と、
- 前記複数の受光素子の出力に基づいて、前記結像光学系の予定焦点面とは異なる焦点面の画像を合成可能な画像合成部と、
- 前記複数のマイクロレンズの頂点近傍の焦点面の画像である目的画像と、前記複数のマイクロレンズの頂点近傍以外の焦点面の画像である補助画像とが合成されるよう前記画像合成部を制御し、前記目的画像に前記補助画像の高周波成分を加算して出力する制御部と、
- を備える画像処理装置。
- [請求項3] 請求項2に記載の画像処理装置において、
- 前記目的画像は、前記複数のマイクロレンズの頂点から、前記複数のマイクロレンズの焦点距離の2倍以上離れていない位置の焦点面の

画像である画像処理装置。

[請求項4]

請求項2または3に記載の画像処理装置において、

前記補助画像は、前記複数のマイクロレンズの頂点から、前記複数のマイクロレンズの焦点距離の2倍以上離れている位置の焦点面の画像である画像処理装置。

[請求項5]

請求項2～4のいずれか一項に記載の画像処理装置において、

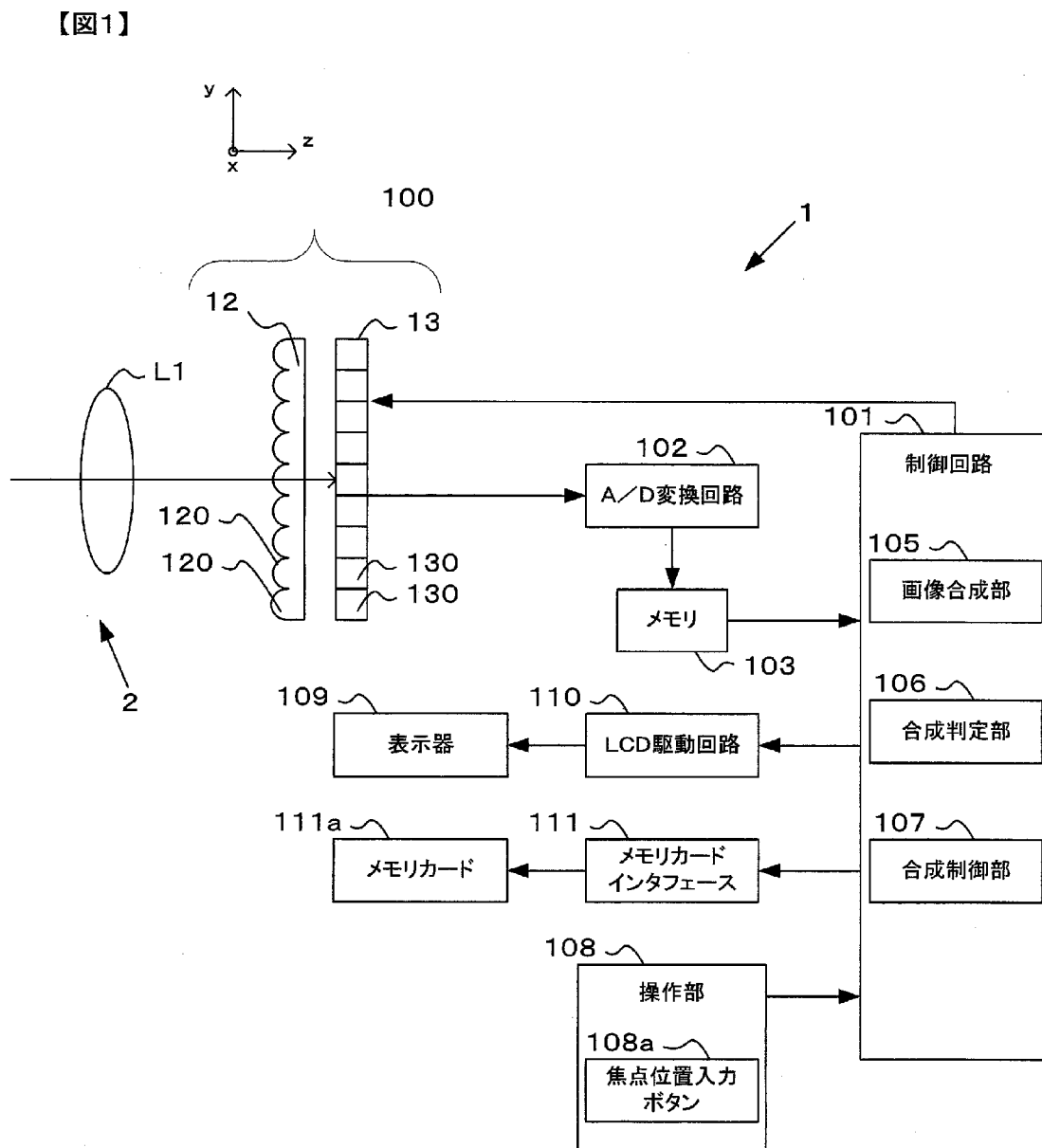
前記制御部は、互いに異なる焦点面に対応する複数の前記補助画像を前記画像合成部に合成させ、前記目的画像にそれら複数の補助画像の高周波成分を加算して出力する画像処理装置。

[請求項6]

請求項5に記載の画像処理装置において、

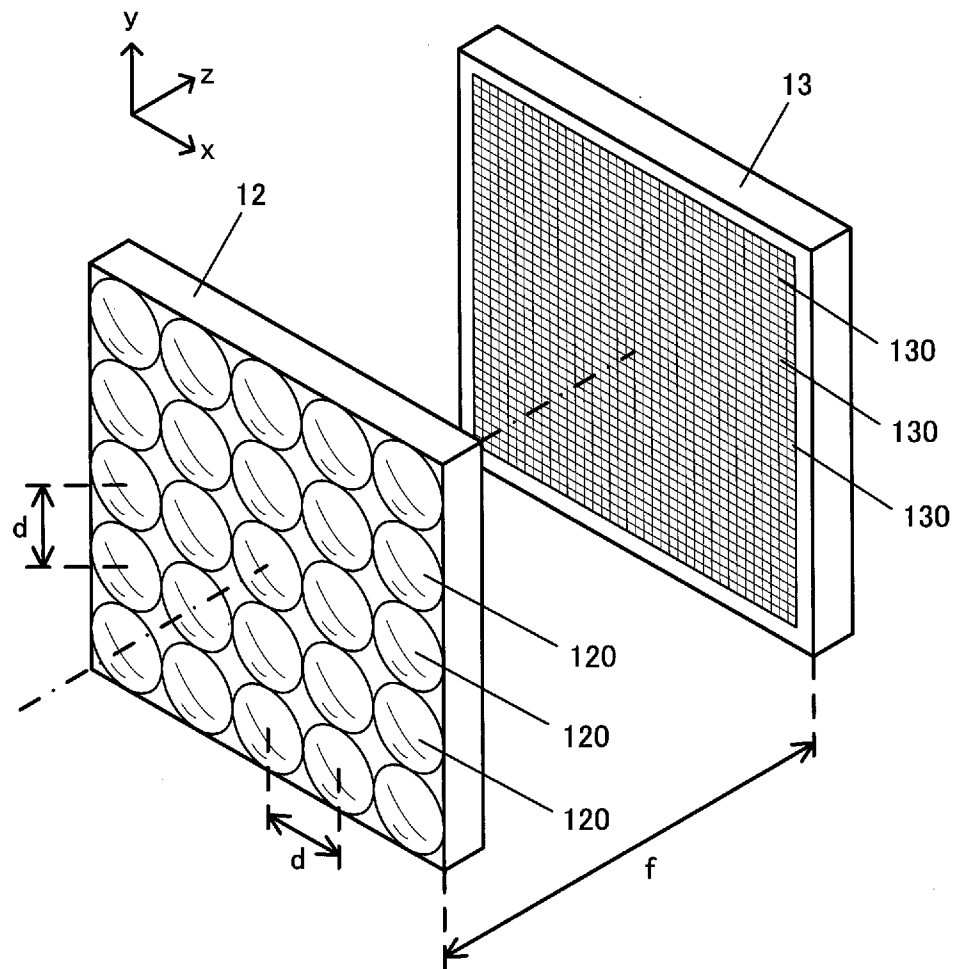
前記制御部は、前記複数のマイクロレンズの焦点距離の2倍だけ、前記複数のマイクロレンズの頂点からその前後にそれぞれ離れた位置の焦点面の前記補助画像を前記画像合成部に合成させる画像処理装置。
。

[図1]



[図2]

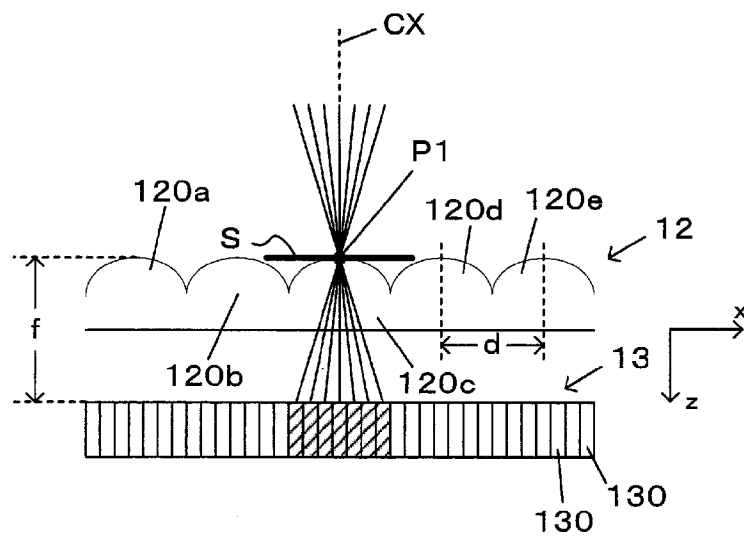
【図2】



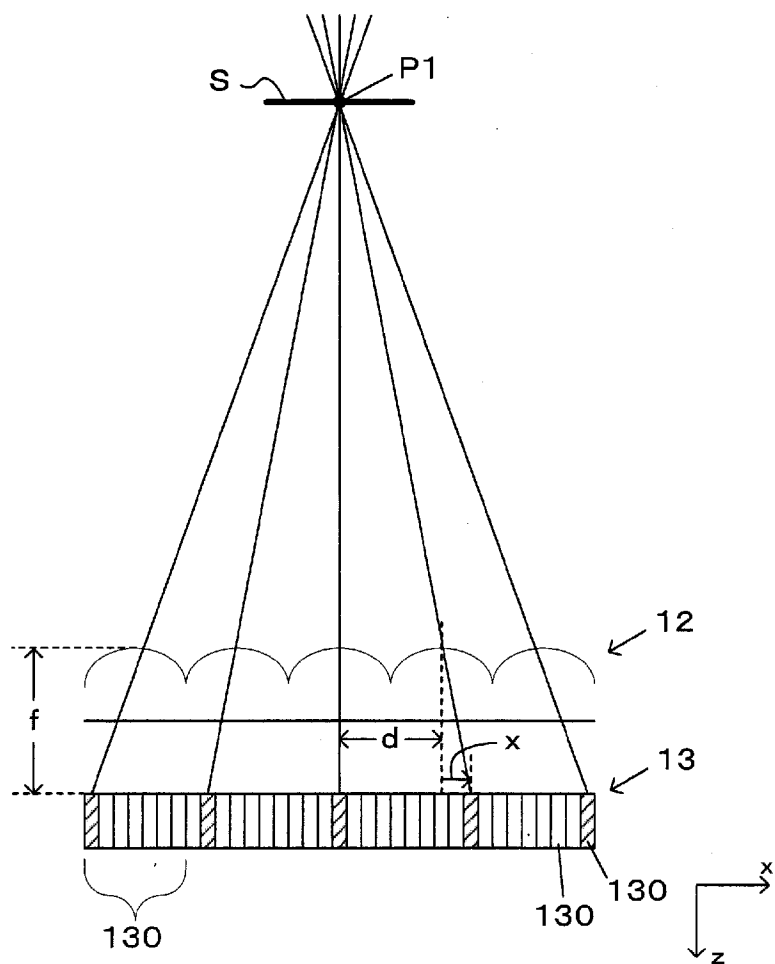
[図3]

【図3】

(a)

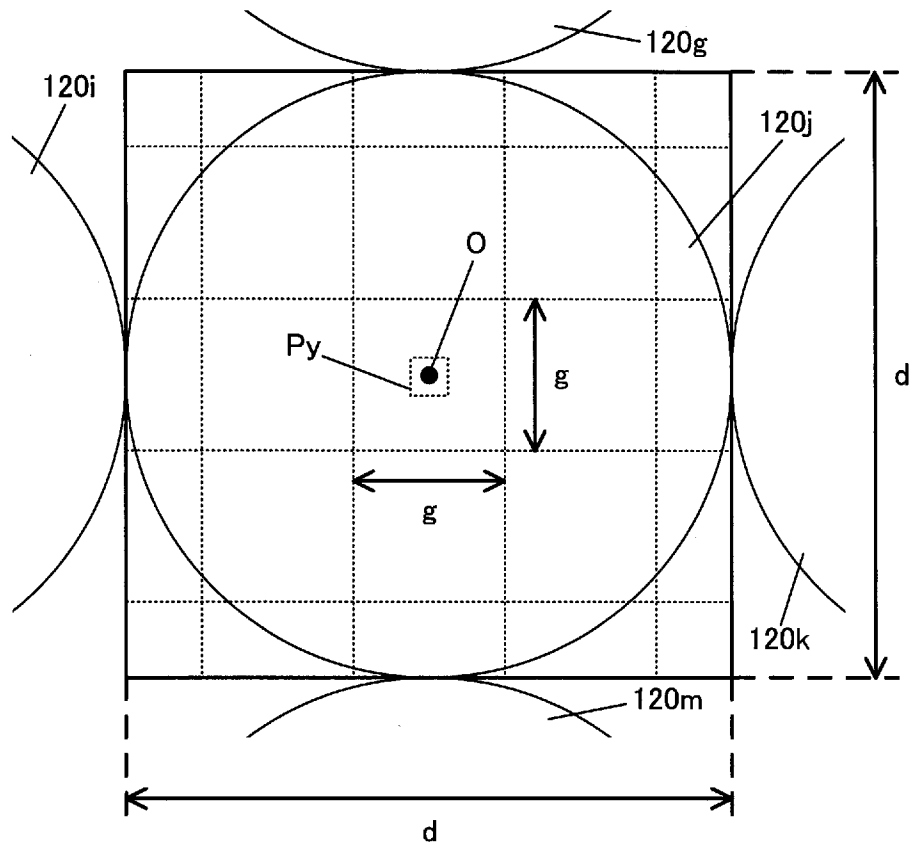


(b)



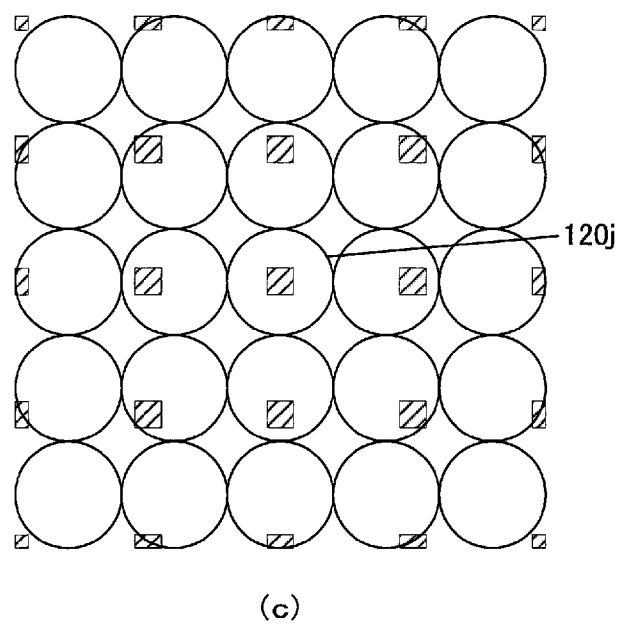
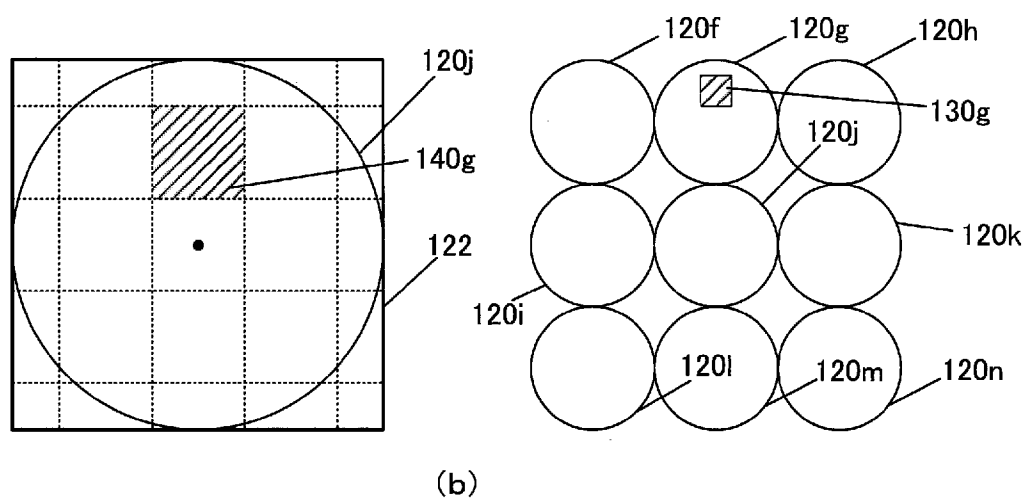
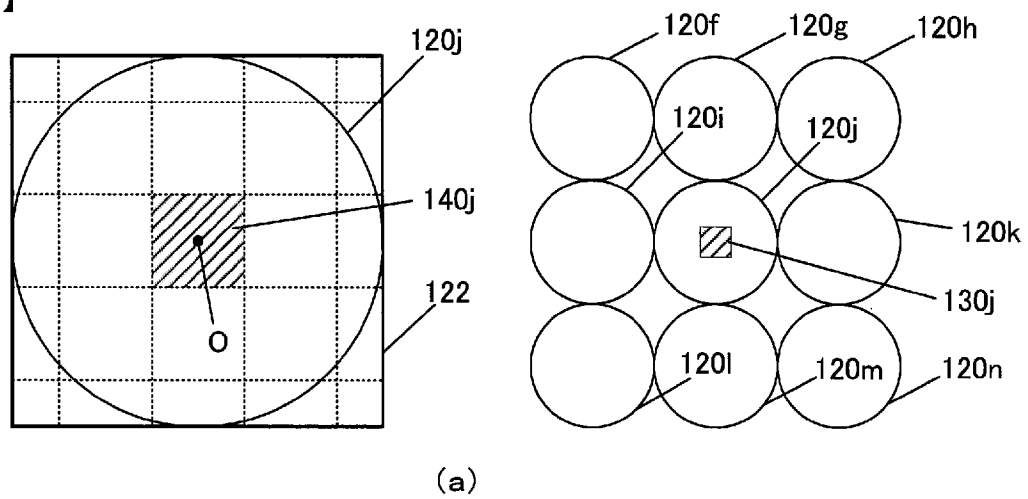
[図4]

【図4】



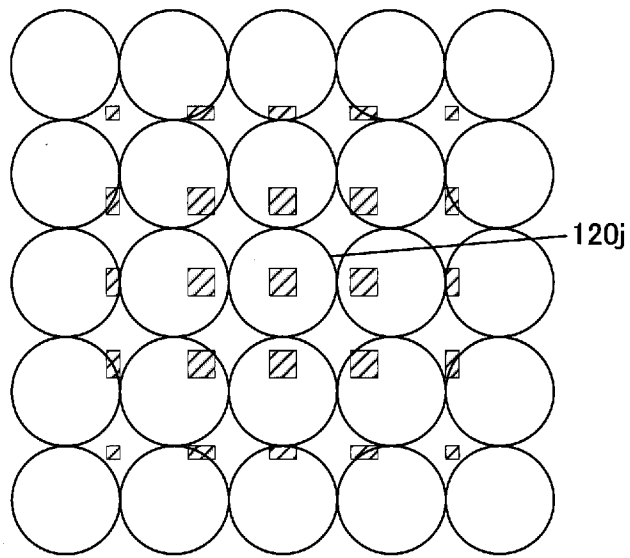
[図5]

【図5】



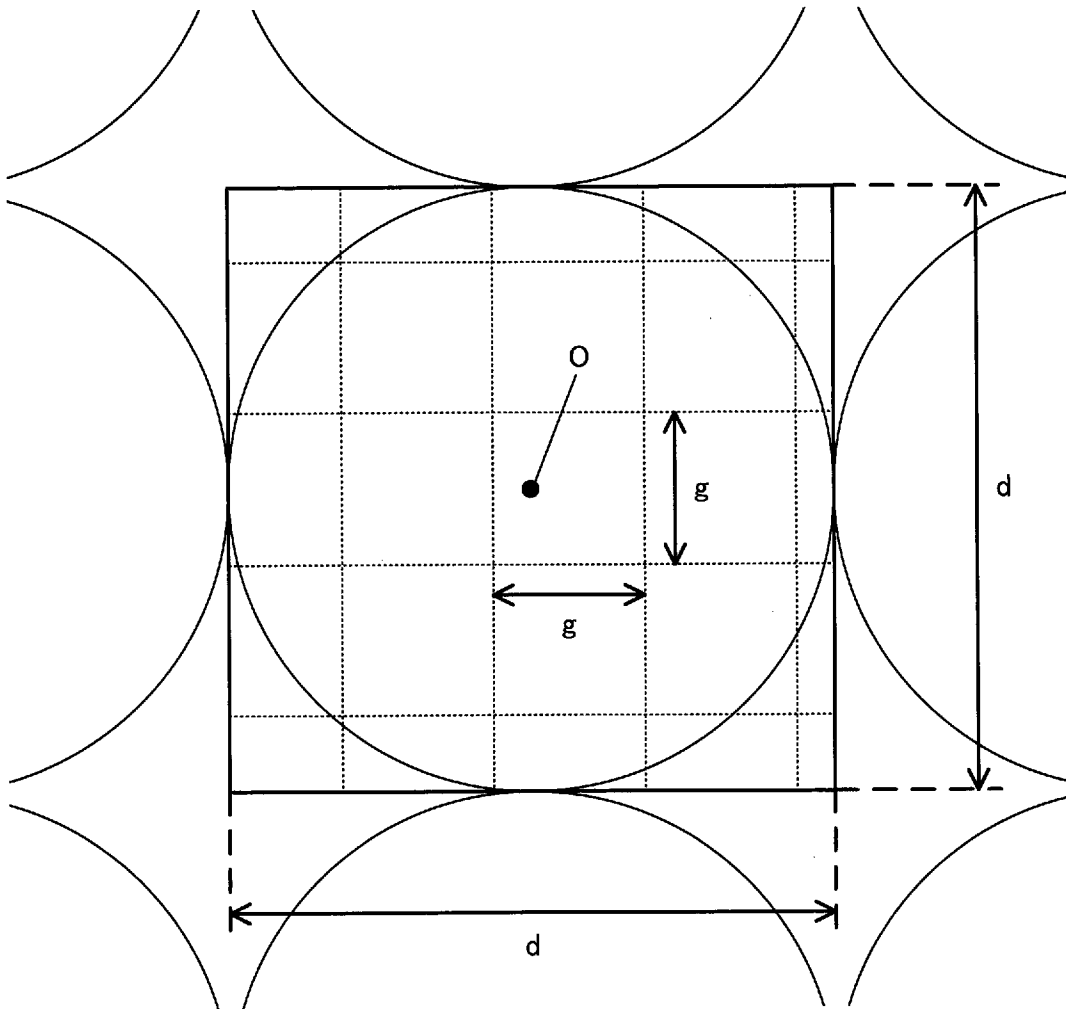
[図6]

【図6】



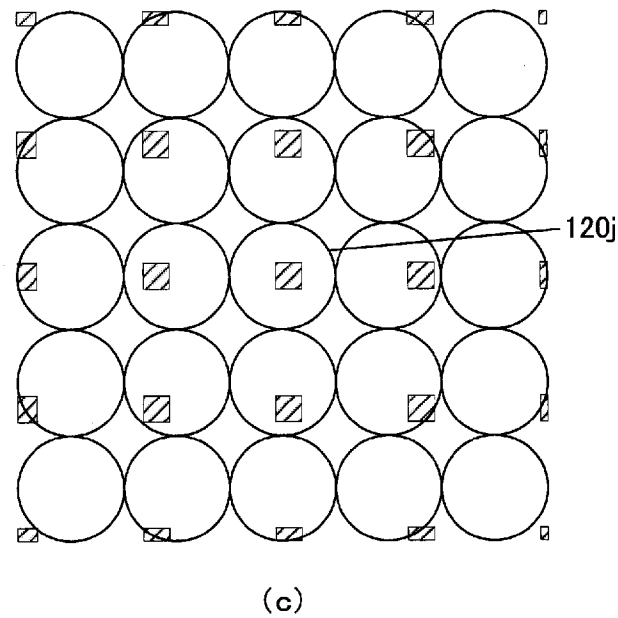
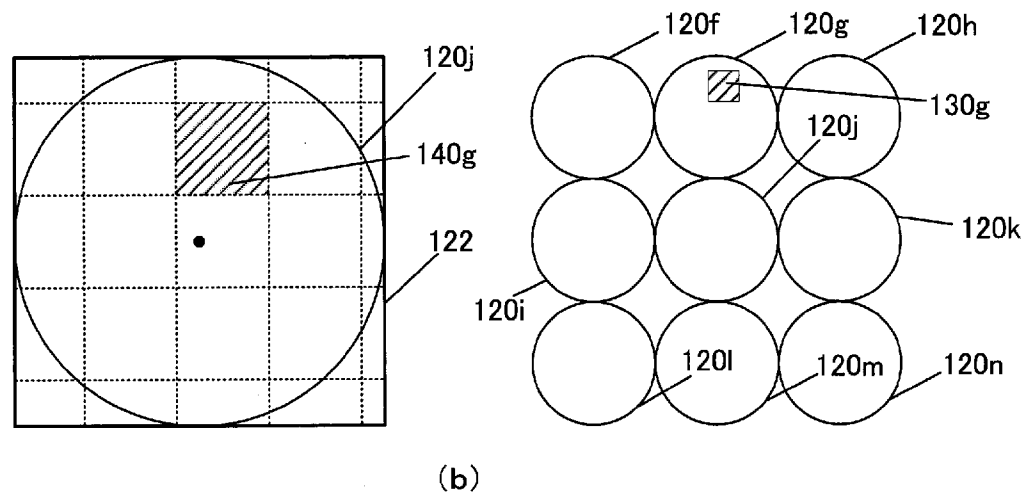
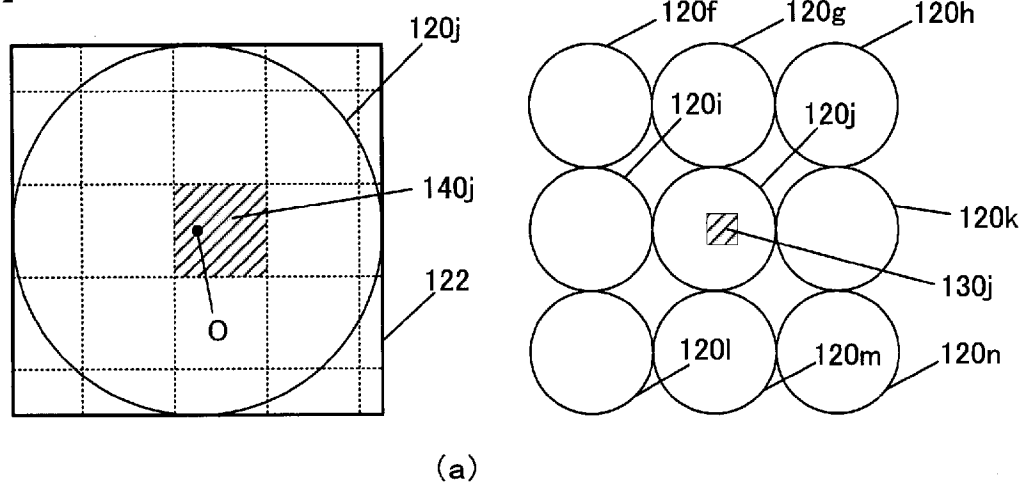
[図7]

【図7】



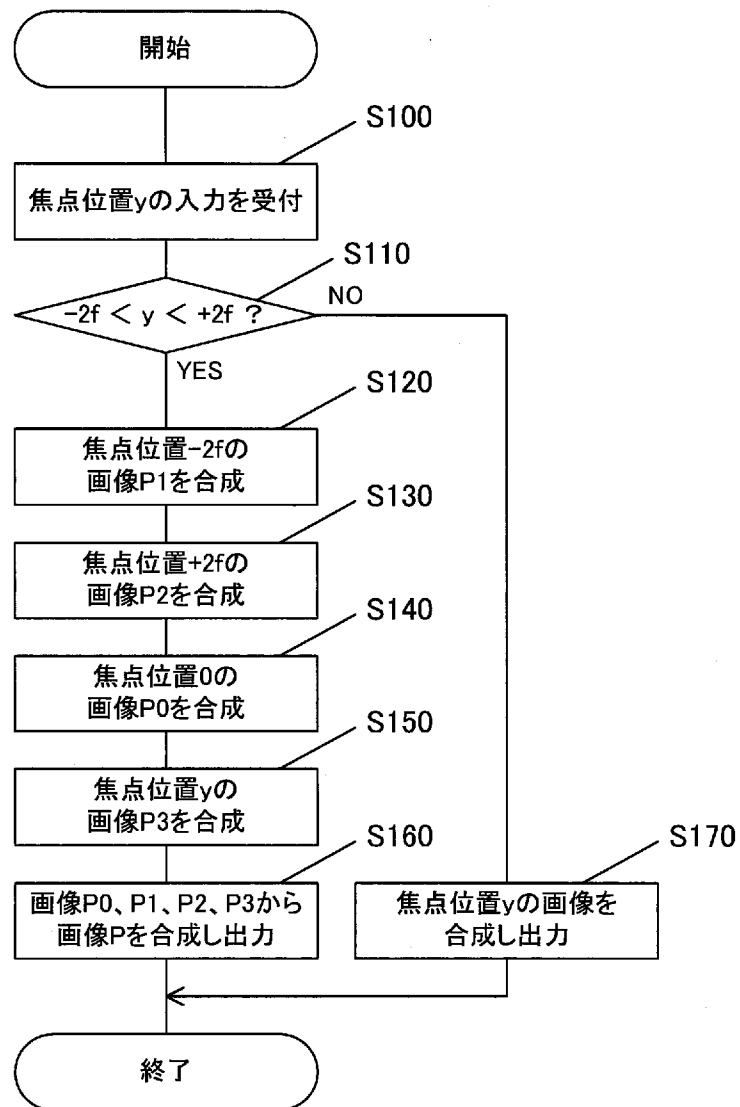
[図8]

【図8】



[図9]

【図9】



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2013/054819

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

H04N5/232(2006.01)i, G06T3/00(2006.01)i, H04N5/225(2006.01)i

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

H04N5/232, G06T3/00, H04N5/225

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Jitsuyo Shinan Koho	1922-1996	Jitsuyo Shinan Toroku Koho	1996-2013
Kokai Jitsuyo Shinan Koho	1971-2013	Toroku Jitsuyo Shinan Koho	1994-2013

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	JP 2008-294741 A (Olympus Corp.), 04 December 2008 (04.12.2008), paragraphs [0002], [0007], [0039] (Family: none)	1-6
A	JP 2007-4471 A (Nikon Corp.), 11 January 2007 (11.01.2007), paragraphs [0035] to [0039] & US 2009/0140131 A1 & WO 2006/137481 A1	1-6
A	JP 2010-114758 A (Nikon Corp.), 20 May 2010 (20.05.2010), paragraphs [0030] to [0033], [0067], [0070] & US 2011/0205388 A1 & WO 2010/053178 A1	1-6

☒ Further documents are listed in the continuation of Box C.

☐ See patent family annex.

* Special categories of cited documents:

“A” document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

“E” earlier application or patent but published on or after the international filing date

“L” document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

“O” document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

“P” document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

“T” later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

“X” document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

“Y” document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art

“&” document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search
21 March, 2013 (21.03.13)

Date of mailing of the international search report
02 April, 2013 (02.04.13)

Name and mailing address of the ISA/
Japanese Patent Office

Authorized officer

Facsimile No.

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2013/054819

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	JP 2011-253431 A (Nikon Corp.), 15 December 2011 (15.12.2011), paragraphs [0022], [0024], [0025], [0053] & US 2012/0287331 A & WO 2011/152531 A1	1-6

A. 発明の属する分野の分類 (国際特許分類 (I P C))

Int.Cl. H04N5/232 (2006.01)i, G06T3/00 (2006.01)i, H04N5/225 (2006.01)i

B. 調査を行った分野

調査を行った最小限資料 (国際特許分類 (I P C))

Int.Cl. H04N5/232, G06T3/00, H04N5/225

最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの

日本国実用新案公報	1 9 2 2 - 1 9 9 6 年
日本国公開実用新案公報	1 9 7 1 - 2 0 1 3 年
日本国実用新案登録公報	1 9 9 6 - 2 0 1 3 年
日本国登録実用新案公報	1 9 9 4 - 2 0 1 3 年

国際調査で使用した電子データベース (データベースの名称、調査に使用した用語)

C. 関連すると認められる文献

引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求項の番号
A	JP 2008-294741 A (オリンパス株式会社) 2008. 12. 04, 【0002】【0007】 【0039】他 (ファミリーなし)	1 - 6
A	JP 2007-4471 A (株式会社ニコン) 2007. 01. 11, 【0035】 - 【0039】 他 & US 2009/0140131 A1 & WO 2006/137481 A1	1 - 6
A	JP 2010-114758 A (株式会社ニコン) 2010. 05. 20, 【0030】 - 【0033】 【0067】【0070】他 & US 2011/0205388 A1 & WO 2010/053178 A1	1 - 6
A	JP 2011-253431 A (株式会社ニコン) 2011. 12. 15, 【0022】【0024】 【0025】【0053】他 & US 2012/0287331 A & WO 2011/152531 A1	1 - 6

C 欄の続きにも文献が列挙されている。

パテントファミリーに関する別紙を参照。

* 引用文献のカテゴリー

「A」特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの
「E」国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの
「L」優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献 (理由を付す)
「O」口頭による開示、使用、展示等に言及する文献
「P」国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願

の日の後に公表された文献

「T」国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの

「X」特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの

「Y」特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの

「&」同一パテントファミリー文献

国際調査を完了した日

2 1 . 0 3 . 2 0 1 3

国際調査報告の発送日

0 2 . 0 4 . 2 0 1 3

国際調査機関の名称及びあて先

日本国特許庁 (I S A / J P)

郵便番号 1 0 0 - 8 9 1 5

東京都千代田区霞が関三丁目4番3号

特許庁審査官 (権限のある職員)

吉川 康男

電話番号 0 3 - 3 5 8 1 - 1 1 0 1 内線 3 5 8 1

5 P

4 2 3 8