

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第6571266号  
(P6571266)

(45) 発行日 令和1年9月4日(2019.9.4)

(24) 登録日 令和1年8月16日(2019.8.16)

(51) Int. Cl.	F 1	
<b>HO 4 N</b> 5/225 (2006.01)	HO 4 N	5/225 4 0 0
<b>HO 4 N</b> 5/232 (2006.01)	HO 4 N	5/232 2 9 0
<b>GO 3 B</b> 3/00 (2006.01)	HO 4 N	5/232 1 2 0
<b>GO 2 B</b> 7/28 (2006.01)	GO 3 B	3/00
<b>GO 2 B</b> 5/18 (2006.01)	GO 2 B	7/28 Z
請求項の数 14 (全 27 頁) 最終頁に続く		

(21) 出願番号 特願2018-502932 (P2018-502932)  
 (86) (22) 出願日 平成28年3月2日(2016.3.2)  
 (86) 国際出願番号 PCT/JP2016/056323  
 (87) 国際公開番号 W02017/149687  
 (87) 国際公開日 平成29年9月8日(2017.9.8)  
 審査請求日 平成30年5月31日(2018.5.31)

(73) 特許権者 000005108  
 株式会社日立製作所  
 東京都千代田区丸の内一丁目6番6号  
 (74) 代理人 110001689  
 青稜特許業務法人  
 (72) 発明者 中村 悠介  
 東京都千代田区丸の内一丁目6番6号 株  
 式会社日立製作所内  
 (72) 発明者 島野 健  
 東京都千代田区丸の内一丁目6番6号 株  
 式会社日立製作所内  
 審査官 ▲徳▼田 賢二

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 撮像装置

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

撮像面にアレイ状に配列された複数の画素に取り込まれた光学像を画像信号に変換して出力する画像センサと、

前記画像センサの受光面に設けられ、光の強度を変調する変調器と、  
 前記画像センサから出力される画像信号を一時的に格納する画像記憶部と、  
 前記画像記憶部から出力される画像信号の画像処理を行う信号処理部と、  
 を具備し、

前記変調器は、複数の同心円から構成される第1の格子パターンを有し、

前記信号処理部は、前記画像記憶部から出力される画像信号を、複数の同心円から構成される仮想的な第2の格子パターンで変調することでモアレ縞画像を生成し、フォーカス位置に応じて前記第2の格子パターンの同心円の大きさを変更することを特徴とする撮像装置。

【請求項2】

請求項1に記載の撮像装置において、  
 適切なフォーカス位置を推定するフォーカス位置算出部を具備し、

前記フォーカス位置算出部は、フォーカス位置を変化させながら、モアレ縞画像に基づいて得られる画像の評価指標を算出し、前記評価指標のピークを検出することにより適切なフォーカス位置を推定することを特徴とする撮像装置。

【請求項3】

請求項 1 に記載の撮像装置において、

前記信号処理部は、フォーカス位置を変化させながら、モアレ縞画像に基づいて得られる画像の評価指標を分割した領域毎に算出し、前記領域毎に前記評価指標のピークを検出することにより前記領域毎に被写体までの距離を推定することを特徴とする撮像装置。

【請求項 4】

請求項 3 に記載の撮像装置において、

前記領域は、撮影範囲の水平方向にのみ分割されていることを特徴とする撮像装置。

【請求項 5】

請求項 3 に記載の撮像装置において、

前記領域は、撮影範囲の垂直方向にのみ分割されていることを特徴とする撮像装置。

10

【請求項 6】

請求項 1 乃至 5 のいずれかに記載の撮像装置において、

前記第 1 の格子パターン及び前記第 2 の格子パターンにおける前記複数の同心円は、同心円の中心となる基準座標に対して同心円のピッチが反比例して細くなることを特徴とする撮像装置。

【請求項 7】

請求項 1 乃至 5 のいずれかに記載の撮像装置において、

前記信号処理部は、生成した前記モアレ縞画像を 2 次元フーリエ変換して周波数スペクトルを算出することを特徴とする撮像装置。

【請求項 8】

20

撮像面にアレイ状に配列された複数の画素に取り込まれた光学像を画像信号に変換して出力する画像センサと、

前記画像センサの受光面に設けられ、光の強度を変調する変調器と、

前記画像センサから出力される画像信号を一時的に格納する画像記憶部と、

前記画像記憶部から出力される画像信号の画像処理を行う信号処理部と、

を具備し、

前記変調器は、複数の直線から構成される第 1 の格子パターンを有し、

前記信号処理部は、前記画像記憶部から出力される画像信号を、複数の直線から構成される仮想的な第 2 の格子パターンで変調することでモアレ縞画像を生成し、

前記信号処理部は、フォーカス位置に応じて前記第 2 の格子パターンの直線間距離を変更することを特徴とする撮像装置。

30

【請求項 9】

請求項 8 に記載の撮像装置において、

適切なフォーカス位置を推定するフォーカス位置算出部を具備し、

前記フォーカス位置算出部は、フォーカス位置を変化させながら、モアレ縞画像に基づいて得られる画像の評価指標を算出し、前記評価指標のピークを検出することにより適切なフォーカス位置を推定することを特徴とする撮像装置。

【請求項 10】

請求項 8 に記載の撮像装置において、

被写体までの距離を推定する距離計測部を具備し、

前記距離計測部は、フォーカス位置を変化させながら、モアレ縞画像に基づいて得られる画像の評価指標を分割した領域毎に算出し、前記複数の領域毎に前記評価指標のピークを検出することにより複数の領域毎に被写体までの距離を推定することを特徴とする撮像装置。

40

【請求項 11】

請求項 8 乃至 10 のいずれかに記載の撮像装置において、

前記第 1 の格子パターン及び前記第 2 の格子パターンにおける前記複数の直線は、基準座標に対して直線間距離が反比例して狭くなることを特徴とする撮像装置。

【請求項 12】

請求項 8 乃至 10 のいずれかに記載の撮像装置において、

50

前記信号処理部は、生成した前記モアレ縞画像を1次元フーリエ変換して周波数スペクトルを算出することを特徴とする撮像装置。

【請求項13】

撮像面にアレイ状に配列された複数の画素に取り込まれた光学像を画像信号に変換して出力する画像センサと、

前記画像センサの受光面に設けられ、光の強度を変調する変調器と、

前記画像センサから出力される画像信号の画像処理を行う信号処理部と、

を具備し、

前記変調器は、複数の直線から構成される第1の格子パターンと第2の格子パターンを有し、

前記変調器は、前記第1の格子パターンを透過する光を前記第2の格子パターンにて強度変調することでモアレ縞画像を生成するものであって、

前記第1の格子パターン及び前記第2の格子パターンにおける前記複数の直線は、基準座標に対して直線間距離が反比例して狭くなることを特徴とする撮像装置。

【請求項14】

請求項13に記載の撮像装置において、

前記信号処理部は、前記画像信号を1次元フーリエ変換して周波数スペクトルを算出することを特徴とする撮像装置。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、撮像装置に関し、特に撮像装置の高機能化に有効な技術に関する。

【背景技術】

【0002】

スマートフォンなどに搭載するデジタルカメラや車載カメラ等は、薄型化・高機能化が必要である。この種のデジタルカメラの薄型化技術としては、例えばレンズを用いることなく物体像を得るものがある（例えば特許文献1参照）。

この技術は、画像センサに特殊な回折格子基板を貼り付け、回折格子基板を透過する光が画像センサ上で生じる射影パターンから、入射光の入射角を逆問題により求めることで、外界の物体の像を得るものである。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0003】

【特許文献1】米国特許出願公開第2014/0253781号明細書

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0004】

上述した特許文献1では、画像センサに貼り付ける基板上面に形成する回折格子のパターンが渦巻き状などの特殊な格子パターンとなっている。そして、その画像センサにて受光される射影パターンから、像を再生するための逆問題を解くことにより、物体の像を得ているが、この逆問題を解く際の演算が複雑になるという問題がある。またデジタルカメラ、車載カメラは高機能なセンシングが求められるが、特許文献1の技術は高機能化を考慮していない。

本発明の目的は、簡単な演算を用いた、撮像装置の高機能化を可能とする技術を提供することにある。

【課題を解決するための手段】

【0005】

上記課題は、たとえば、特許請求の範囲に記載の発明により解決される。

【発明の効果】

【0006】

10

20

30

40

50

本発明によれば、撮影後のフォーカス調整（リフォーカス）、オートフォーカス、測距といった高機能な撮像装置を実現することが可能となる。

【図面の簡単な説明】

【0007】

【図1】基本的な実施例を示す図

【図2】基本的な実施例の変調器を示す図

【図3】基本的な実施例の変調器を示す図

【図4】基本的な実施例により外界の物体を撮影する様子を示す図

【図5】基本的な実施例の画像処理部の処理フローを示す図

【図6】斜め入射平行光による格子基板表面から裏面への射影像が面内ずれを生じること  
を説明する図 10

【図7】格子基板両面の格子の軸がそろった場合のモアレ縞の生成と周波数スペクトルを  
説明する模式図

【図8】表面格子と裏面格子の軸をずらして配置する場合の模式図

【図9】格子基板両面の格子をずらして配置する場合のモアレ縞の生成と周波数スペクトル  
を説明する模式図

【図10】格子パターンの実施例を示す図

【図11】格子パターンの実施例を示す図

【図12】物体を構成する各点からの光がセンサに対してなす角を説明する図

【図13】物体を撮影した場合の空間周波数スペクトルを示す図 20

【図14】物体が無限距離にある場合に表側格子パターンが投影されることを示す図

【図15】物体が無限距離にある場合に生成されるモアレ縞の例を示す図

【図16】物体が有限距離にある場合に表側格子パターンが拡大されることを示す図

【図17】物体が有限距離にある場合に生成されるモアレ縞の例を示す図

【図18】物体が有限距離にある場合に裏側格子パターンを補正したモアレ縞の例を示す  
図

【図19】裏側格子パターンを画像処理で実現する実施例を示す図

【図20】裏側格子パターンを画像処理で実現する実施例の変調器を示す図

【図21】裏側格子パターンを画像処理で実現する実施例の画像処理部の処理フローを示  
す図 30

【図22】リフォーカスを実現する実施例を示す図

【図23】リフォーカスを実現する実施例の画像処理部の処理フローを示す図

【図24】オートフォーカスを実現する実施例を示す図

【図25】オートフォーカスを実現する実施例のフォーカス位置算出部の処理フローを示  
す図

【図26】オートフォーカスを実現する実施例のコントラスト計算領域を示す図

【図27】オートフォーカスを実現する実施例の最適フォーカス位置を示す図

【図28】測距を実現する実施例を示す図

【図29】測距を実現する実施例の距離計測部の処理フローを示す図

【図30】測距を実現する実施例のコントラスト計算領域を示す図 40

【図31】測距を実現する実施例の最適フォーカス位置を示す図

【図32】測距を実現する実施例のコントラスト計算領域を示す図

【図33】格子パターンの実施例を示す図

【図34】1次元方向の測距を実現する実施例の変調器とセンサの構成を示す図

【図35】1次元方向の測距を実現する実施例の変調器とセンサの構成を示す図

【図36】1次元方向の測距を実現する実施例の変調器とセンサの構成を示す図

【図37】処理を分割する方法の実施例を示す図

【図38】処理を分割する方法の実施例を示す図

【図39】画像データ容量を圧縮する実施例の画像圧縮部の処理フローを示す図

【発明を実施するための形態】

## 【 0 0 0 8 】

以下の実施の形態においては便宜上その必要があるときは、複数のセクションまたは実施の形態に分割して説明するが、特に明示した場合を除き、それらはお互いに無関係なものではなく、一方は他方の一部または全部の変形例、詳細、補足説明等の関係にある。

また、以下の実施の形態において、要素の数等（個数、数値、量、範囲等を含む）に言及する場合、特に明示した場合および原理的に明らかに特定の数に限定される場合等を除き、その特定の数に限定されるものではなく、特定の数以上でも以下でもよい。

さらに、以下の実施の形態において、その構成要素（要素ステップ等も含む）は、特に明示した場合および原理的に明らかに必須であると考えられる場合等を除き、必ずしも必須のものではないことは言うまでもない。

10

## 【 0 0 0 9 】

同様に、以下の実施の形態において、構成要素等の形状、位置関係等に言及するときは特に明示した場合および原理的に明らかにそうではないと考えられる場合等を除き、実質的にその形状等に近似または類似するもの等を含むものとする。このことは、上記数値および範囲についても同様である。

また、実施の形態を説明するための全図において、同一の部材には原則として同一の符号を付し、その繰り返しの説明は省略する。

以下、本発明の実施例について図面を用いて説明する。

## 【 実施例 1 】

## 【 0 0 1 0 】

20

無限遠物体の撮影原理

図 1 は、本実施の形態 1 による撮像装置 1 0 1 における構成の一例を示す説明図である。撮像装置 1 0 1 は、結像させるレンズを用いることなく、外界の物体の画像を取得するものであり、図 1 に示すように、変調器 1 0 2、画像センサ 1 0 3、および画像処理部 1 0 6 から構成されている。

## 【 0 0 1 1 】

図 2 に変調器 1 0 2 の一例を示す。変調器 1 0 2 は、画像センサ 1 0 3 の受光面に密着して固定されており、格子基板 1 0 2 a に第 1 の格子パターン 1 0 4、第 2 の格子パターン 1 0 5 がそれぞれ形成された構成からなる。格子基板 1 0 2 a は、例えばガラスやプラスチックなどの透明な材料からなる。以降、格子基板 1 0 2 a の画像センサ 1 0 3 側を裏面と呼び、対向する面すなわち撮影対象側を表面と呼ぶ。この格子パターン 1 0 4、1 0 5 は、外側に向かうほど中心からの半径に反比例して格子パターンの間隔、すなわちピッチが狭くなる同心円状の格子パターンからなる。格子パターン 1 0 4、1 0 5 は、例えば半導体プロセスに用いられるスパッタリング法などによってアルミニウムなどを蒸着することによって形成される。アルミニウムが蒸着されたパターンと蒸着されていないパターンによって濃淡がつけられる。なお、格子パターン 1 0 4、1 0 5 の形成は、これに限定されるものでなく、例えばインクジェットプリンタなどによる印刷などによって濃淡をつけて形成してもよい。

30

## 【 0 0 1 2 】

なお、ここでは変調器 1 0 2 を実現するために、格子パターン 1 0 4、1 0 5 を格子基板 1 0 2 a に形成する方法について述べたが、図 3 に示すように格子パターン 1 0 4、1 0 5 を薄膜に形成し、支持部材 1 0 2 b により保持する構成などによっても実現できる。

40

格子パターン 1 0 4、1 0 5 を透過する光は、その格子パターンによって光の強度が変調される。透過した光は、画像センサ 1 0 3 にて受光される。画像センサ 1 0 3 は、例えば CCD ( Charge Coupled Device ) イメージセンサまたは CMOS ( Complementary Metal Oxide Semiconductor ) イメージセンサなどからなる。

## 【 0 0 1 3 】

画像センサ 1 0 3 の表面には、受光素子である画素 1 0 3 a が格子状に規則的に配置されている。この画像センサ 1 0 3 は、画素 1 0 3 a が受光した光画像を電気信号である画

50

像信号に変換する。画像センサ103から出力された画像信号は、画像処理部である画像処理部106によって画像処理されて画像表示部107などに出力される。

【0014】

図4は、図1の撮像装置101による撮影の一例を示す説明図である。この図4では、撮像装置101によって被写体401を撮影して画像表示部107に表示している例を示している。図示するように、被写体401を撮影する際には、被写体401に対して変調器102における表面、具体的には第1の格子パターン104が形成されている格子基板102aの面が正対するようにして撮影が行われる。

続いて、画像処理部106による画像処理の概略について説明する。図5は、図1の撮像装置101が有する画像処理部106による画像処理の概略を示すフローチャートである。

10

【0015】

まず、画像センサ103から出力されるモアレ縞画像に対して、カラーのRGB (Red Green Blue) 成分ごとに2次元フーリエ変換 (FFT: Fast Fourier Transform) 演算を行い、周波数スペクトルを求める (ステップS501)。続いて、ステップS501の処理による周波数スペクトルの片側周波数のデータを切り出した後 (ステップS502)、該周波数スペクトルの強度計算を行う (ステップS503) ことによって画像を取得する。そして、得られた画像に対してノイズ除去処理を行い (ステップS504)、続いてコントラスト強調処理 (ステップS505) などを行う。その後、画像のカラーバランスを調整して (ステップS506) 撮影画像として出力する。以上により、画像処理部106による画像処理が終了となる。

20

【0016】

続いて、撮像装置101における撮影原理について説明する。まず、中心からの半径に対して反比例してピッチが細くなる同心円状の格子パターン104, 105は、以下のように定義する。レーザ干渉計などにおいて、平面波に近い球面波と参照光として用いる平面波とを干渉させる場合を想定する。同心円の中心である基準座標からの半径を  $r$  とし、そこでの球面波の位相を  $\phi(r)$  とするとき、これを波面の曲がりの大きさを決める係数  $\beta$  を用いて、

【0017】

【数1】

$$\text{【数1】 } \phi(r) = \beta r^2$$

30

【0018】

と表せる。

【0019】

球面波にもかかわらず、半径  $r$  の2乗で表されているのは、平面波に近い球面波のため、展開の最低次のみで近似できるからである。この位相分布を持った光に平面波を干渉させると、

【0020】

【数2】

$$\text{【数2】 } I(r) = \frac{1}{4} |\exp i\phi(r) + 1|^2 = \frac{1}{2} (1 + \cos\phi) = \frac{1}{2} (1 + \cos\beta r^2)$$

40

【0021】

のような干渉縞の強度分布が得られる。これは、

【0022】

【数3】

$$\text{【数3】 } \phi(r) = \beta r^2 = 2n\pi \quad (n = 0, 1, 2, \dots)$$

【0023】

50

を満たす半径位置で明るい線を持つ同心円の縞となる。縞のピッチを  $p$  とすると、

【 0 0 2 4 】

【数 4】

$$\text{【数 4】 } p \frac{d}{dr} \phi(r) = 2p\beta r = 2\pi, \quad p(r) = \frac{\pi}{\beta r}$$

【 0 0 2 5 】

が得られ、ピッチは、半径に対して反比例して狭くなっていくことがわかる。このような縞を持つプレートは、フレネルゾーンプレートやガボールゾーンプレートと呼ばれる。このように定義される強度分布に比例した透過率分布をもった格子パターンを、図 1 に示した格子パターン 1 0 4 , 1 0 5 として用いる。

10

【 0 0 2 6 】

このような格子パターンが両面に形成された厚さ  $t$  の変調器 1 0 2 に、図 6 に示すように角度  $\theta$  で平行光が入射したとする。変調器 1 0 2 中の屈折角を  $n$  として幾何光学的には、表面の格子の透過率が乗じられた光が、 $t \cdot \tan \theta$  だけずれて裏面に入射し、仮に 2 つの同心円格子の中心がそろえて形成されていたとすると、裏面の格子の透過率が  $t \cdot \tan \theta$  だけずれて掛け合わされることになる。このとき、

【 0 0 2 7 】

【数 5】

$$\begin{aligned} \text{【数 5】 } I(x, y)I(x + \delta, y) &= \frac{1}{4} \{1 + \cos\beta(x^2 + y^2)\} \{1 + \cos\beta((x + \delta)^2 + y^2)\} \\ &= \frac{1}{8} \{2 + 4\cos\beta(r^2 + \delta x)\cos\delta\beta x + \cos 2\beta(r^2 + \delta x) + \cos 2\delta\beta x\} \end{aligned}$$

20

【 0 0 2 8 】

のような強度分布が得られる。

【 0 0 2 9 】

この展開式の第 4 項が、2 つの格子のずれの方向にまっすぐな等間隔の縞模様を重なり合った領域一面に作る事がわかる。このような縞と縞の重ね合わせによって相対的に低い空間周波数で生じる縞はモアレ縞と呼ばれる。このようにまっすぐな等間隔の縞は、検出画像の 2 次元フーリエ変換によって得られる空間周波数分布に鋭いピークを生じる。その周波数の値から  $\beta$  の値、すなわち光線の入射角  $\theta$  を求めることが可能となる。このような全面で一様に等間隔で得られるモアレ縞は、同心円状の格子配置の対称性から、ずれの方向によらず同じピッチで生じることは明らかである。このような縞が得られるのは、格子パターンをフレネルゾーンプレートまたはガボールゾーンプレートで形成したことによるものであり、これ以外の格子パターンで、全面で一様な縞を得るのは困難と考えられる。但し、全面で一様に等間隔なモアレ縞が得ることが目的であり、格子パターンをフレネルゾーンプレートやガボールゾーンプレートに限定するものではない。

30

【 0 0 3 0 】

第 2 項でもフレネルゾーンプレートの強度がモアレ縞で変調された縞が生じることがわかるが、2 つの縞の積の周波数スペクトルは、それぞれのフーリエスペクトルのコンボリューションとなるため、鋭いピークは得られない。

式 5 から鋭いピークを持つ成分のみを

【 0 0 3 1 】

【数 6】

$$\text{【数 6】 } I(x, y) = \frac{1}{8} (2 + \cos 2\delta\beta x)$$

【 0 0 3 2 】

50

のように取り出すと、そのフーリエスペクトルは、

【 0 0 3 3 】

【 数 7 】

$$\begin{aligned} \text{【 数 7 】 } F[I(x,y)] &= \frac{1}{8} F[2 + \cos 2\delta\beta x] \\ &= \frac{1}{4} \delta(u,v) + \frac{1}{8} \delta\left(u + \frac{\delta\beta}{\pi}, v\right) + \frac{1}{8} \delta\left(u - \frac{\delta\beta}{\pi}, v\right) \end{aligned}$$

【 0 0 3 4 】

のようになる。ここで、Fはフーリエ変換の演算を表し、u、vは、x方向およびy方向の空間周波数座標、括弧を伴う $\delta$ はデルタ関数である。この結果から、検出画像の空間周波数スペクトルにおいて、モアレ縞の空間周波数のピークが $u = \pm \frac{\delta\beta}{\pi}$  / の位置に生じることがわかる。

10

【 0 0 3 5 】

その様子を図7に示す。図7において、左から右にかけては、光線と変調器102の配置図、モアレ縞、および空間周波数スペクトルの模式図をそれぞれ示している。図7(a)は、垂直入射、図7(b)は、左側から角度 $\theta$ で光線が入射する場合、図7(c)は、右側から角度 $\theta$ で光線が入射する場合をそれぞれ示している。

変調器102の表面側に形成された第1の格子パターン104と裏面側に形成された第2の格子パターン105とは、軸がそろっている。図7(a)では、第1の格子パターン104と第2の格子パターン105との影が一致するのでモアレ縞は生じない。

20

【 0 0 3 6 】

図7(b)および図7(c)では、第1の格子パターン104と第2の格子パターン105とのずれが等しいために同じモアレが生じ、空間周波数スペクトルのピーク位置も一致して、空間周波数スペクトルからは、光線の入射角が図7(b)の場合なのか、あるいは図7(c)の場合なのかを判別することができなくなる。

【 0 0 3 7 】

これを避けるためには、例えば図8に示すように、変調器102に垂直に入射する光線に対しても2つの格子パターンの影がずれて重なるようあらかじめ2つの格子パターン104、105を光軸に対して相対的にずらしておくことが必要である。軸上の垂直入射平面波に対して2つの格子の影の相対的なずれを0とすると、入射角 $\theta$ の平面波によって生じるずれは、

30

【 0 0 3 8 】

【 数 8 】

$$\text{【 数 8 】 } \delta = \delta_0 + t \tan \theta$$

【 0 0 3 9 】

のように表せる。このとき、入射角 $\theta$ の光線のモアレ縞の空間周波数スペクトルのピークは周波数のプラス側では

【 0 0 4 0 】

【 数 9 】

$$\text{【 数 9 】 } u = \frac{\delta\beta}{\pi} = \frac{1}{\pi} (\delta_0 + t \tan \theta) \beta$$

40

【 0 0 4 1 】

の位置となる。画像センサの大きさをS、画像センサのx方向およびy方向の画素数を共にNとすると、高速フーリエ変換(FFT: Fast Fourier Transform)による離散画像の空間周波数スペクトルは、 $-N/(2S)$ から $+N/(2S)$ の範囲で得られる。このことから、プラス側の入射角とマイナス側の入射角を均等に受光することを考えれば、垂直入射平面波( $\theta = 0$ )によるモアレ縞のスペクトルピーク位置は

50

、原点（DC：直流成分）位置と、例えば+側端の周波数位置との中央位置、すなわち、

【0042】

【数10】

$$\text{【数10】 } \frac{\delta_0 \beta}{\pi} = \frac{N}{4S}$$

【0043】

の空間周波数位置とするのが妥当である。したがって、2つの格子の相対的な中心位置ずれは、

【0044】

【数11】

$$\text{【数11】 } \delta_0 = \frac{\pi N}{4\beta S}$$

【0045】

とするのが妥当である。

【0046】

図9は、第1の格子パターン104と第2の格子パターン105とをずらして配置した場合のモアレ縞の生成および周波数スペクトルを説明する模式図である。図7と同様にし、左側は光線と変調器102の配置図、中央列はモアレ縞、そして右側は空間周波数スペクトルを示す。また、図9(a)は、光線が垂直入射の場合であり、図9(b)は、光線が左側から角度で入射する場合であり、図9(c)は、光線が右側から角度で入射する場合である。

【0047】

第1の格子パターン104と第2の格子パターン105とは、あらかじめ0だけずらして配置されている。そのため、図9(a)でもモアレ縞が生じ、空間周波数スペクトルにピークが現れる。そのずらし量0は、上記したとおり、ピーク位置が原点から片側のスペクトル範囲の中央に現れるように設定されている。このとき図9(b)では、ずれがさらに大きくなる方向、図9(c)では、小さくなる方向となっているため、図7と異なり、図9(b)と図9(c)との違いがスペクトルのピーク位置から判別できる。このピークのスペクトル像がすなわち無限遠の光束を示す輝点であり、図1の撮像装置101による撮画像にほかならない。

受光できる平行光の入射角の最大角度をmaxとすると、

【0048】

【数12】

$$\text{【数12】 } u_{max} = \frac{1}{\pi} (\delta_0 + t \tan \theta_{max}) \beta = \frac{N}{2S}$$

【0049】

より、撮像装置101にて受光できる最大画角は、

【0050】

【数13】

$$\text{【数13】 } \tan \theta_{max} = \frac{\pi N}{4t\beta S}$$

【0051】

で与えられる。

【0052】

一般的なレンズを用いた結像との類推から、画角maxの平行光を画像センサの端で焦点を結んで受光すると考えると、レンズを用いない撮像装置101の実効的な焦点距離

10

20

30

40

50

は、

【 0 0 5 3 】

【 数 1 4 】

$$\text{【 数 1 4 】 } f_{eff} = \frac{S}{2 \tan \theta_{max}} = \frac{2t\beta S^2}{\pi N}$$

【 0 0 5 4 】

に相当すると考えることができる。

ここで、式 1 3 より画角は変調器 1 0 2 の厚さ  $t$ 、格子パターン 1 0 4、1 0 5 の係数によって変更可能であることが判る。よって、例えば変調器 1 0 2 が図 3 の構成であり支持部材 1 0 2 b の長さを変更可能な機能を有していれば、撮影時に画角を変更して撮影することも可能となる。

10

【 0 0 5 5 】

なお、式 2 で示したように、格子パターンの透過率分布は、基本的に正弦波的な特性があることを想定しているが、格子パターンの基本周波数成分としてそのような成分があればよく、例えば図 1 0 に示すように格子パターンの透過率を 2 値化することも可能であり、さらに図 1 1 のように透過率が高い格子領域と低い領域の  $duty$  を変えて、透過率の高い領域の幅を広げて透過率を高めることも考えられる。これにより、格子パターンからの回折を抑圧するなどの効果も得られ、撮画像の劣化を低減可能である。

【 0 0 5 6 】

20

以上の説明では、いずれも入射光線は同時には 1 つの入射角度だけであったが、実際に撮像装置 1 0 1 がカメラとして作用するためには、複数の入射角度の光が同時に入射する場合を想定しなければならない。このような複数の入射角の光は、裏面側の格子パターンに入射する時点ですでに複数の表側格子の像を重ね合わせることになる。もし、これらが相互にモアレ縞を生じると、信号成分である第 2 の格子パターン 1 0 5 とのモアレ縞の検出を阻害するノイズとなることが懸念される。しかし、実際は、第 1 の格子パターン 1 0 4 の像どうしの重なりはモアレ像のピークを生じず、ピークを生じるのは裏面側の第 2 の格子パターン 1 0 5 との重なりだけになる。その理由について以下に説明する。

【 0 0 5 7 】

まず、複数の入射角の光線による表面側の第 1 の格子パターン 1 0 4 の影どうしの重なりは、積ではなく和であることが大きな違いである。1 つの入射角の光による第 1 の格子パターン 1 0 4 の影と第 2 の格子パターン 1 0 5 との重なりでは、第 1 の格子パターン 1 0 4 の影である光の強度分布に、第 2 の格子パターン 1 0 5 の透過率を乗算することで、裏面側の第 2 の格子パターン 1 0 5 を透過したあとの光強度分布が得られる。

30

【 0 0 5 8 】

これに対して、表面側の第 1 の格子パターン 1 0 4 に複数入射する角度の異なる光による影どうしの重なりは、光の重なり合いなので、積ではなく、和になるのである。和の場合は、

【 0 0 5 9 】

【 数 1 5 】

40

$$\begin{aligned} \text{【 数 1 5 】 } I(x, y) + I(x + \delta, y) &= \frac{1}{2} \{1 + \cos\beta(x^2 + y^2)\} + \frac{1}{2} \{1 + \cos\beta((x + \delta)^2 + y^2)\} \\ &= 1 + \cos\beta(r^2 + \delta x) \cos\delta\beta x \end{aligned}$$

【 0 0 6 0 】

のように、もとのフレネルゾーンプレートの格子の分布に、モアレ縞の分布を乗算した分布となる。したがって、その周波数スペクトルは、それぞれの周波数スペクトルの重なり積分で表される。そのため、たとえモアレのスペクトルが単独で鋭いピークをもったとしても、實際上、その位置にフレネルゾーンプレートの周波数スペクトルのゴーストが生じるだけである。つまり、スペクトルに鋭いピークは生じない。したがって、複数の入射角

50

の光を入れても検出されるモアレ像のスペクトルは、常に表面側の第1の格子パターン104と裏面側の第2の格子パターン105との積のモアレ像であり、第2の格子パターン105が単一である以上、検出されるスペクトルのピークは1つの入射角に対して1つだけとなるのである。

【0061】

ここで、これまで検出することを説明してきた平行光と、実際の物体からの光との対応について図12を用いて模式的に説明する。図12は、物体を構成する各点からの光が画像センサに対してなす角を説明する説明図である。被写体301を構成する各点からの光は、厳密には点光源からの球面波として、図1の撮像装置101の変調器102および画像センサ103（以下、図12では格子センサー基板1201という）に入射する。このとき、被写体401に対して格子センサー基板が十分に小さい場合や、十分に遠い場合には、各点から、格子センサー基板を照明する光の入射角が同じとみなすことができる。

10

【0062】

式9から求められる微小角度変位  $\Delta\theta$  に対するモアレの空間周波数変位  $\Delta u$  が、画像センサの空間周波数の最小解像度である  $1/S$  以下となる関係から、 $\Delta\theta \leq \frac{\pi}{S\beta t}$  が平行光とみなせる条件は、

【0063】

【数16】

$$\text{【数16】 } \Delta u = \frac{1}{\pi} \beta t \Delta\theta \leq \frac{1}{S}, \quad \Delta\theta \leq \frac{\pi}{S\beta t}$$

20

【0064】

のように表せる。この条件下であれば、無限遠の物体に対して本発明の撮像装置で撮像が可能であり、これまでの議論から高速フーリエ変換（FFT）によって、図13に示すような像を得ることができる。

有限距離物体の撮影原理

ここで、これまで述べた無限遠の場合における表面側の第1の格子パターン104の裏面への射影の様子を図14に示す。無限遠の物体を構成する点1401からの球面波は、十分に長い距離を伝搬する間に平面波となり表面側の第1の格子パターン104を照射し、その投影像1402が下の面に投影される場合、投影像は第1の格子パターン104とほぼ同じ形状である。結果、投影像1402に対して、裏面側の格子パターン（図1の第2の格子パターン105に相当）の透過率分布を乗じることにより、等間隔な直線状のモアレ縞を得ることができる（図15）。

30

【0065】

一方、有限距離の物体に対する撮像について説明する。図16は、撮像する物体が有限距離にある場合に表面側の第1の格子パターン104の裏面への射影が第1の格子パターン104より拡大されることを示す説明図である。図16に示すように、物体を構成する点1601からの球面波が表面側の第1の格子パターン104を照射し、その投影像1602が下の面に投影される場合、投影像はほぼ一様に拡大される。なお、この拡大率は、第1の格子パターン104から点1601までの距離  $f$  を用いて、

40

【0066】

【数17】

$$\text{【数17】 } \alpha = \frac{f+t}{f}$$

【0067】

のように算出できる。

【0068】

そのため、平行光に対して設計された裏面側の格子パターンの透過率分布をそのまま乗

50

じたのでは、等間隔な直線状のモアレ縞は生じなくなる（図17）。しかし、一様に拡大された表面側の第1の格子パターン104の影に合わせて、第2の格子パターン105を拡大するならば、拡大された投影像1602に対して再び、等間隔な直線状のモアレ縞を生じさせることができる（図18）。このためには、第2の格子パターン105の係数を  $1/\lambda$  とすることで補正が可能である。

これにより、必ずしも無限遠でない距離の点1601からの光を選択的に再生することができる。これによって、任意の位置に焦点合わせて撮影を行うことができる。

#### 【0069】

次に、変調器102の構成を簡略化する方法について説明する。変調器102では、格子基板102aの表面および裏面にそれぞれ同一形状の第1の格子パターン104および第2の格子パターン105を互いにずらして形成することにより、入射する平行光の角度をモアレ縞の空間周波数スペクトルから検知して像を構成していた。この裏面側の第2の格子パターン105は、画像センサ103に密着して入射する光の強度を変調する光学素子であり、入射光に依らず同じ格子パターンである。そこで、図19に示すように、第2の格子パターン105を除去した変調器1901を使用し、第2の格子パターン105に相当する処理を画像処理部1902内の強度変調部1903で実行してもよい。

この時の変調器1901の構成の詳細を図20に示す。この構成によって、格子基板102aに形成する格子パターンを1面減らすことができる。それにより、変調器の製造コストを低減することができる。

#### 【0070】

図21は、図19の画像処理部1902による画像処理の概略を示すフローチャートである。この図21におけるフローチャートが図5のフローチャートと異なるところは、ステップS2101の処理である。ステップS2101の処理では、前述した強度変調部1902により、画像センサ103から出力される画像に対して、裏面側の格子パターン105を透過したことに相当するモアレ縞画像を生成する。具体的には、式5に相当する演算が行われればよいので、強度変調部1903において裏面側の格子パターン105を生成し、画像センサ103の画像に対して乗算すればよい。さらに、裏面側の格子パターン105が図10、11に示すような2値化したパターンであれば、黒に相当する領域の画像センサ103の値を0にするだけでも実現可能である。これにより、乗算回路の規模を抑圧することが可能である。以降、図21のステップS501～S506の処理は、図5の処理と同様であるので、ここでは説明を省略する。

#### 【0071】

なお、この場合、画像センサ103が有する画素103aのピッチは、第1の格子パターン104のピッチを十分再現できる程度に細かいか、あるいは第1の格子パターン104のピッチが画素103aのピッチにて再現できる程度に粗い必要である。格子パターンを格子基板102aの両面に形成する場合は、必ずしも格子パターンのピッチが画像センサ103の画素103aにて解像できる必要はなく、そのモアレ像だけが解像できればよい。しかし、画像処理により格子パターンを再現する場合は、格子パターンと画像センサ103の解像度は同等である必要がある。

また、以上は強度変調部1903により第2の格子パターン105に相当する処理を実現したが、第2の格子パターン105はセンサに密着して入射する光の強度を変調する光学素子であるため、センサの感度を実効的に第2の格子パターン105の透過率を加味して設定することによっても実現できる。

#### 【0072】

以上で説明した、裏面側の第2の格子パターン105を画像処理部で行う構成によれば、撮影後に任意の距離にフォーカスを合わせることも可能となる。この場合の構成を図22に示す。図19と異なるのは、画像記憶部2201、画像処理部2202、フォーカス設定部2203である。画像記憶部2201は、撮影後のフォーカス調整を可能とするため、画像センサ103から出力される画像を一時的に格納するために設けられている。また、フォーカス設定部2203は、撮像装置101に備え付けられたつまみや、スマート

10

20

30

40

50

フォンのGUI (Graphical User Interface) などによってフォーカス距離を設定可能であり、フォーカス距離情報を画像処理部2202に出力する。

【0073】

図23は、図22の画像処理部2202による画像処理の概略を示すフローチャートである。この図23におけるフローチャートが図21のフローチャートと異なるところは、ステップS2301の処理である。ステップS2301の処理では、前述したフォーカス設定部2203出力であるフォーカス距離情報に基づいて、式17から拡大率  $M$  を算出し

裏面側の第2の格子パターン105の係数  $k_2$  を  $M$  とする計算を行う。その後S2101において、該係数に基づいて裏面側の格子パターンを透過したことに相当するモアレ縞画像を生成する。以降、図23のステップS501～S506の処理は、図5の処理と同様であるので、ここでは説明を省略する。

10

【0074】

以上の方法・構成に依れば、高速フーリエ変換 (FFT) などの簡単な演算によって外界の物体像を得ることができ、さらに撮影後に任意の距離にフォーカスを調整可能となる。従来のカメラにおいてフォーカスを変更するためには再撮影が必要であったが、本実施例では1度の撮影しか必要としない。

なお、モアレ縞から空間周波数スペクトルを算出する方法として高速フーリエ変換を例に説明したが、これに限定されるものではなく、離散コサイン変換 (DCT: Discrete Cosine Transform) などを使用しても実現可能であり、さらに演算量を削減することも可能である。

20

【0075】

また、本実施例において格子パターン104, 105はフレネルゾーンプレートやガボールゾーンプレートとして説明したが、これに限定されるものではなく、モアレ縞から空間周波数スペクトルを算出できさえすれば、他の実施例の1次元方向のパターンなどを使用してもよい。これらのことは他の実施例においても適用できる。

【実施例2】

【0076】

本実施例が実施例1と異なるのは、フォーカス調整を自動化できる点である。本実施例の構成を図24に示す。実施例1の図22と異なるのは、フォーカス位置算出部2401である。

30

図25は、図24のフォーカス位置算出部2401によるオートフォーカスの概略を示すフローチャートである。本オートフォーカスは、フォーカス位置を分解能  $f$  ずつシフトさせながら現像処理し、コントラストが最大となる位置を算出することによって実現する。この処理について詳細に説明する。

【0077】

まず、フォーカス位置の初期値 (無限遠もしくは距離0など) を設定 (S2501)、フォーカス位置から拡大率  $M$  を算出し、第2の格子パターン105の係数  $k_2$  を算出する (S2301)。S2101からS503までは図23と同様であり、その後、図26に示すように撮像範囲内の領域2601内の任意の領域2601aを切り出す (S2503)

40

この領域がフォーカス調整に用いる領域であり、ユーザがGUIで設定するか、顔認識技術等により自動的に設定してもよい。次に、領域2601a内のコントラストを、領域内の最大輝度  $I_{max}$ 、最小輝度  $I_{min}$  を用いて、

【0078】

【数18】

$$\text{【数18】 } C = \frac{I_{max} - I_{min}}{I_{max} + I_{min}}$$

【0079】

【数 19】

$$\text{【数 19】 } C = \frac{I_{max}}{I_{min}}$$

【0080】

により算出 (S2504)、結果をメモリに格納する (S2505)。

【0081】

この後、フォーカス位置を  $f$  ずらして設定 (S2502)、以降の S2502 から S2505 までの処理を予め設定したフォーカス可変範囲内の走査が完了するまで実施する (S2506)。探索完了後、メモリ内のコントラスト情報を読み出すと、図 27 に示したように、コントラストとフォーカス位置の関係が得られるので (S2507)、コントラストが最大となるフォーカス位置を探索し (S2508)、出力する (S2509)。

10

このフォーカス位置算出部 2401 において得られたフォーカス位置情報に基づき、画像処理部 2202 で画像処理を行えば、最適なフォーカスでの撮影が可能となる。

【0082】

以上の方法・構成に依れば、フォーカス調整を自動化でき、さらに従来のカメラと異なり、再撮影を行うことなく最適なフォーカスでの撮影が可能となる。

【0083】

なお、本実施例においてコントラストが最大となる探索を行ったが、これに限定するものではなく、SNR (Signal to Noise Ratio) や、HPF (High-Pass Filter) 結果の加算値など、鮮明な画像となるフォーカス位置を決定できる方法であればよい。

20

また、フォーカス位置の走査範囲はユーザが予め設定することも可能である。

また、フォーカス位置を  $f$  ずつシフトする方法について説明したが、これに限定するものではない。フォーカス位置が変わることによる像のボケ方は、遠方ほど位置に対する感度が低くなるため、撮像装置 101 近傍は細かく、遠方は粗くシフトさせることでより高精度・高速な探索が可能となる。

これらのことは他の実施例においても適用できる。

【実施例 3】

【0084】

30

本実施例が実施例 1 と異なるのは、画像のみならず 2 次元方向 (水平ならびに垂直方向) の距離情報を取得できる点である。本実施例の構成を図 28 に示す。実施例 1 の図 22 と異なるのは、距離計測部 2801 ならびに距離情報表示部 2802 である。

図 29 は、図 28 の距離計測部 2801 による距離計測の概略を示すフローチャートである。本距離計測は、実施例 2 のオートフォーカスの原理を領域毎に実施することで、最適なフォーカス位置 (= 物体が存在する位置) を計測することによって実現する。この処理について詳細に説明する。

【0085】

まず、S2501 から S503 までは実施例 2 の図 25 と同様である。その後、図 30 に示すように撮像範囲内の領域 2601 を分割する (S2901)。この分割サイズが距離計測における 2 次元方向の分解能に対応するためサイズが細かい方が好ましいが、細かくし過ぎると測定誤差が増大する問題がある。よって、環境に応じてユーザが分割サイズを変更することも有用である。この分割した領域 3001 の例として領域 3001a と 3001b を図 30 に示している。次に、領域毎に領域内のコントラストを、領域内の最大輝度  $I_{max}$ 、最小輝度  $I_{min}$  を用いて、

40

【0086】

【数 18】

$$\text{【数 18】 } C = \frac{I_{max} - I_{min}}{I_{max} + I_{min}}$$

50

【 0 0 8 7 】

【 数 1 9 】

$$【 数 1 9 】 C = \frac{I_{max}}{I_{min}}$$

【 0 0 8 8 】

により算出 ( S 2 9 0 2 )、結果をメモリに格納する ( S 2 9 0 3 )。

【 0 0 8 9 】

この後、フォーカス位置を  $f$  ずらして設定 ( S 2 5 0 2 )、以降の S 2 5 0 2 から S 2 9 0 3 までの処理を予め設定したフォーカス可変範囲内の走査が完了するまで実施する ( S 2 9 0 4 )。探索完了後、メモリ内のコントラスト情報を読み出すと、図 3 1 に示したように、コントラストとフォーカス位置の関係が得られる ( S 2 9 0 5 )。この例のように、遠方の山が領域内に含まれる領域 3 0 0 1 a は遠方でコントラストが最大となり、近傍の人が領域内に含まれる領域 3 0 0 1 b は比較的近傍でコントラストが最大となっている様子が判る。例では 2 つの領域の変化のみ図 3 1 に示しているが、実際には図 3 0 における領域 3 0 0 1 の分割数の数だけメモリに格納されていることになる。このように、領域毎にコントラストが最大となるフォーカス位置を探索し ( S 2 9 0 6 )、距離情報の 2 次元マップを作成し出力する ( S 2 9 0 7 )。

10

【 0 0 9 0 】

この距離情報を距離情報表示部 2 8 0 2 により表示することで、2 次元方向の距離情報を確認可能となる。ここでは、距離情報表示部 2 8 0 2 を使用したが、距離計測部 2 8 0 1 出力を直接用いることにより、自動車やドローンのような機器における、障害物認識、自動運転に適用することもできる。

20

【 0 0 9 1 】

以上の方法・構成に依れば、画像のみならず 2 次元方向 ( 水平ならびに垂直方向 ) の距離情報を取得することが可能となる。

【 0 0 9 2 】

なお、本実施例においてコントラストが最大となる探索を行ったが、これに限定するものではなく、SNR ( Signal to Noise Ratio ) や、HPF ( High - Pass Filter ) 結果の加算値など、鮮明な画像となるフォーカス位置を決定できる方法であればよい。

30

また、2 次元の距離測定が不要な場合、図 3 2 に示すように撮像範囲内の領域 2 6 0 1 を横方向に分割し、分割領域 3 0 0 1 単位で距離測定することもできる。これにより、水平方向のみの距離測定しか行えないが、縦方向の情報を使うことにより距離情報の SNR を向上可能である。もちろん、撮像範囲内の領域 2 6 0 1 の分割を縦方向に行うことにより、垂直方向のみの距離測定とすることも可能である。

【 0 0 9 3 】

また、本実施例では単一フレームから距離情報を算出する例について述べたが、複数フレームの画像を平均化して使用する、または複数フレームの距離情報を平均化して使用することによって SNR を向上し、距離精度を向上したり、2 次元方向の分解能を向上したりすることが可能である。

40

【 0 0 9 4 】

また、フレーム間での距離情報の差分を求めることによって、2 次元方向または 1 次元方向の速度情報を算出することも可能である。

これらのことは他の実施例においても適用できる。

【 実施例 4 】

【 0 0 9 5 】

実施例 3 では図 3 2 の例のように 1 次元方向の測距を行う際にも、図 2 8 のように 2 次元の画像センサ 1 0 3 を使用していることから、図 2 9 の S 5 0 1 を 2 次元フーリエ変換により行わなければならない、計算コスト、画像センサコストが増大することになる。

50

そこで、本実施例では1次元方向の測距に特化した構成について説明する。本実施例の構成は実施例3における図28と同一でよいが、変調器1901の第1の格子パターン104を図33に示すように1次元方向のパターンとする。このパターンにおける複数の直線は、基準座標に対して直線間距離が反比例して狭くなっている。このパターンは、

【0096】

【数20】

$$\text{【数20】 } I(r) = \frac{1}{2}(1 + \cos\beta x^2)$$

【0097】

により定義できる。このように、垂直方向に同一パターンが連続する格子パターンを使用することによって、水平方向にのみの検出を可能とする。

【0098】

この格子パターンを用いた例を図34に示す。変調器3401とラインセンサ3402から構成されている。また、変調器3401の表面は式20に基づく格子パターン3403により透過率が変調されている。本構成に依れば、1次元のラインセンサを用いることでセンサコストを抑圧し、さらにフーリエ変換を1次元フーリエ変換とすることで演算量を大幅に低減することが可能である。なお、この例ではセンサ側(裏面)の格子パターンを省略した構成を示しているが、もちろん裏面の格子パターンがある構成で実現してもよく、このことは全ての議論でも同様である。

【0099】

別の例を図35に示す。シリンドリカルレンズ3501、変調器3502、ラインセンサ3402から構成されている。また、変調器3502の表面は式20に基づく格子パターン3503により透過率が変調されている。さらに、シリンドリカルレンズ3501の焦点位置がラインセンサ3402上となるように配置されている。本構成に依れば、図34よりも多くの光を用いて検出することができるため、距離情報のSNRを向上することが可能である。

【0100】

さらに別の例を図36に示す。変調器3502、画像センサ103、垂直方向加算部3601から構成されている。垂直方向加算部3601では、画像センサ103垂直方向の輝度を加算する演算を行う。本構成に依れば、図35のようにシリンドリカルレンズ3501を用いなくても、よりも多くの光を用いて検出することができるため、距離情報のSNRを向上することが可能である。

【0101】

なお、本実施例では図33の1次元方向のパターンを測距に使用する例について述べたが、他の実施例の格子パターン104, 105として使用することで、1次元方向に限定した撮影、リフォーカス、オートフォーカスなどの処理が可能であり、周波数スペクトルに必要な演算量を大幅に低減することが可能である。

【0102】

また、以上の例では水平方向の測距に特化した構成について説明したが、これに限定するものではなく、図33に示した格子パターンを、

【0103】

【数21】

$$\text{【数21】 } I(r) = \frac{1}{2}(1 + \cos\beta y^2)$$

【0104】

のように、水平方向に同一パターンが連続する格子パターンを使用することによって、垂直方向にのみの検出を可能としたり、任意の角度方向の検出を行ったりすることも可能である。

10

20

30

40

50

これらのことは他の実施例においても適用できる。

【実施例 5】

【0105】

これまでの実施例では、画像処理部 2002 や距離計測部 2201 などの演算のため、撮像装置 101 サイズが大きくなってしまふ可能性がある。そこで、本実施例では撮像装置 101 サイズを小さくするための処理分割方法について説明する。

【0106】

本実施例の構成を図 37 に示す。実施例 3 の図 28 と異なり、撮像装置 101 に含まれるのは主に変調器 1901、画像センサ 103 であり、信号処理部 3701 に画像記憶部 2201、画像処理部 2202、距離計測部 2801 が含まれている。

本構成において、撮像装置 101 出力を有線もしくは無線 LAN (Local Area Network) を介してインターネットに接続するなどすれば、信号処理部 3701 はサーバなどで行っても良く、撮像装置 101 の大きさを制限することが無くなる。

しかし、図 37 の構成では画像センサ 103 出力のデータ容量が大きいことが問題になると考えられる。そこで、実施例 2 などのように、フォーカス位置が決まっている場合に画像を圧縮する方法について図 38 で説明する。

【0107】

図 38 は、実施例 2 の図 22 と異なり、撮像装置 101 に含まれるのは主に変調器 1901、画像センサ 103、画像圧縮部 3801、フォーカス設定部 2203 であり、信号処理部 3802 に画像処理部 106 が含まれている。

【0108】

図 39 は、図 38 の画像圧縮部 3801 による画像圧縮の概略を示すフローチャートである。フォーカス設定部 2203 出力であるフォーカス距離情報に基づいて、式 17 から拡大率  $\alpha$  を算出し、裏面側の第 2 の格子パターン 105 の係数  $k_2$  を  $\alpha$  とする計算を行う (S3901)。その後、該係数に基づいて裏面側の格子パターンを透過したことに相当するモアレ縞画像を生成する (S3902)。ここで、画像センサ 103 が有する画素 103a のピッチは、第 1 の格子パターン 104 のピッチを十分再現できる程度に細かいためにデータ容量が増大している。よって、モアレ像が解像できるだけの空間周波数を通過する LPF (Low-Pass Filter) を作用させた後に (S3903)、ダウンサンプリングを行い (S3904)、データ容量を圧縮する。なお、このダウンサンプリングの際のサンプリング周波数が LPF 通過帯域の倍以上であればサンプリング定理上元の信号を復元することが可能であるため望ましいが、限定するものではない。

【0109】

なお、本発明は上記の実施例に限定されるものではなく、様々な変形例が含まれる。例えば、上記した実施例は本発明を分かりやすく説明するために詳細に説明したものであり、必ずしも説明した全ての構成を備えるものに限定されるものではない。

また、ある実施例の構成の一部を他の実施例の構成に置き換えることが可能であり、また、ある実施例の構成に他の実施例の構成を加えることも可能である。

【0110】

また、各実施例の構成の一部について、他の構成の追加・削除・置換をすることが可能である。

また、上記の各構成、機能、処理部、処理手段等は、それらの一部又は全部を、例えば集積回路で設計する等によりハードウェアで実現してもよい。また、上記の各構成、機能等は、プロセッサがそれぞれの機能を実現するプログラムを解釈し、実行することによりソフトウェアで実現してもよい。各機能を実現するプログラム、テーブル、ファイル等の情報は、メモリや、ハードディスク、SSD (Solid State Drive) 等の記録装置、または、IC カード、SD カード、DVD 等の記録媒体に置くことができる。

また、制御線や情報線は説明上必要と考えられるものを示しており、製品上必ずしも全ての制御線や情報線を示しているとは限らない。実際には殆ど全ての構成が相互に接続さ

10

20

30

40

50

れていると考えてもよい。

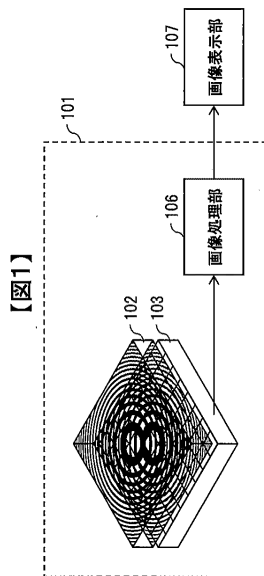
【符号の説明】

【0111】

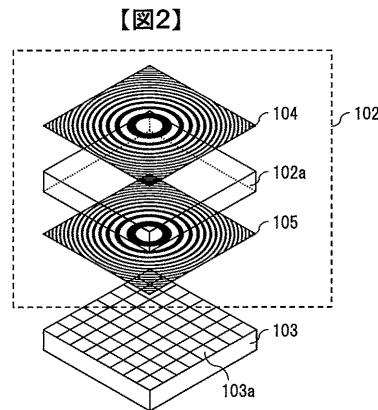
101・・・撮像装置、102・・・変調器、102a・・・格子基板、102b・・・支持部材、103・・・画像センサ、103a・・・画素、106・・・画像処理部、107・・・画像表示部、104・・・格子パターン（表側）、105・・・格子パターン（裏側）、401・・・被写体、1201・・・格子センサー体基板、1401・・・点、1402・・・投影像、1601・・・点、1602・・・投影像、1901・・・変調器、1902・・・画像処理部、1903・・・強度変調部、2201・・・画像記憶部、2202・・・画像処理部、2203・・・フォーカス設定部、2401・・・フォーカス位置算出部、2601・・・領域、2601a・・・領域、2801・・・距離計測部、2802・・・距離情報表示部、3001・・・領域、3001a・・・領域、3001b・・・領域、3201・・・領域、3401・・・変調器、3402・・・ラインセンサ、3403・・・格子パターン、3501・・・シリンドリカルレンズ、3502・・・変調器、3503・・・格子パターン、3601・・・垂直方向加算部、3701・・・信号処理部、3801・・・画像圧縮部、3802・・・信号処理

10

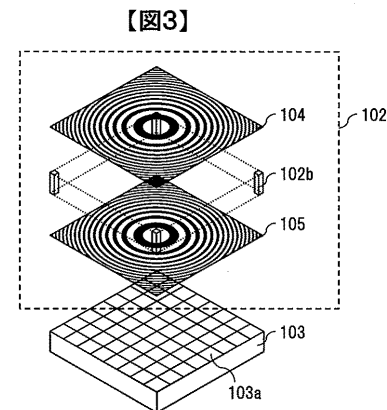
【図1】



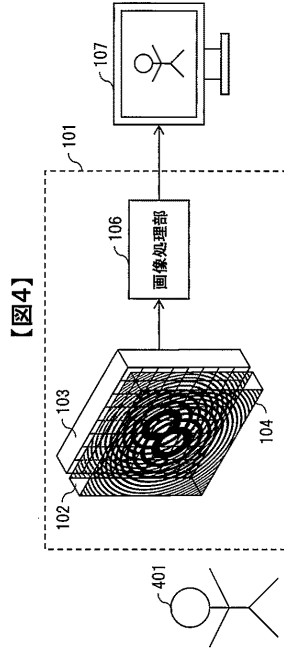
【図2】



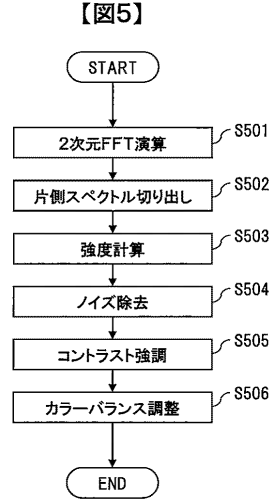
【図3】



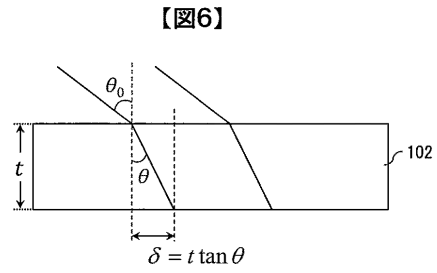
【図4】



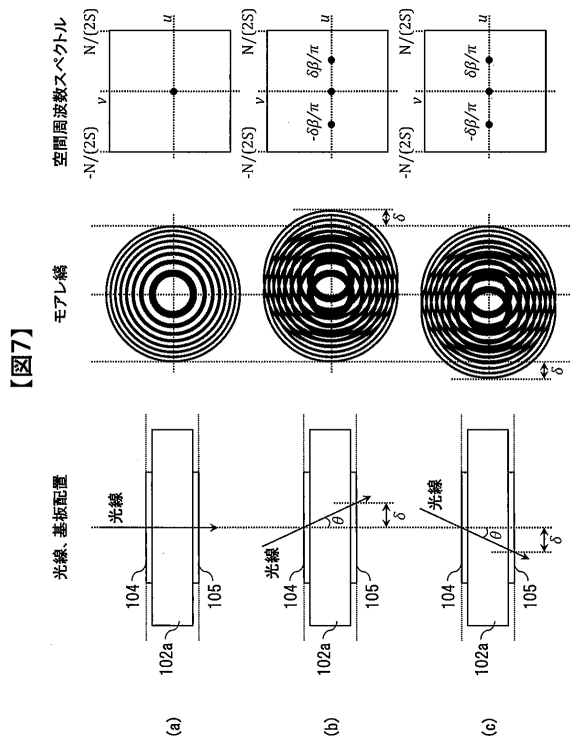
【図5】



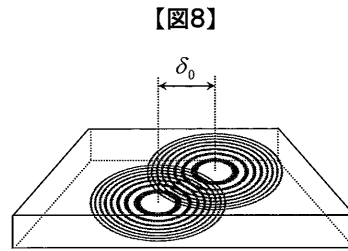
【図6】



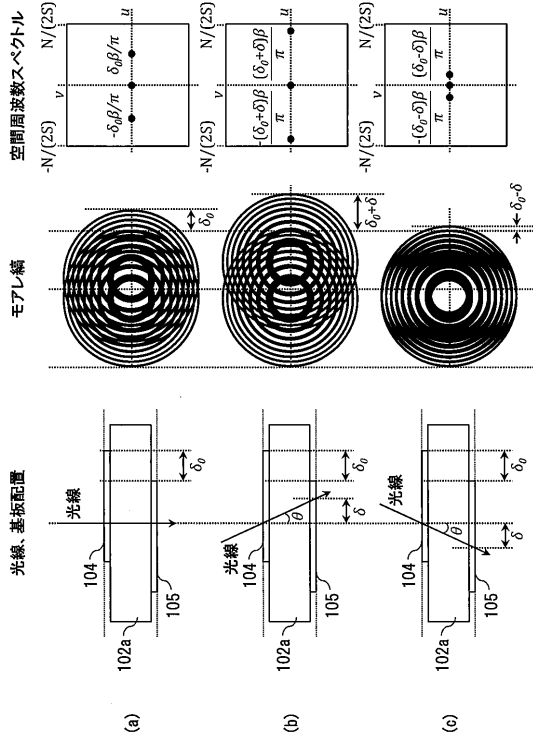
【図7】



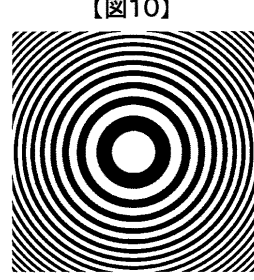
【図8】



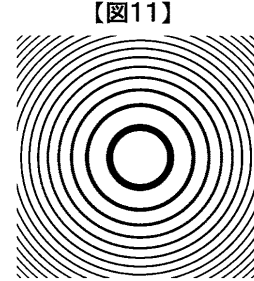
【図9】



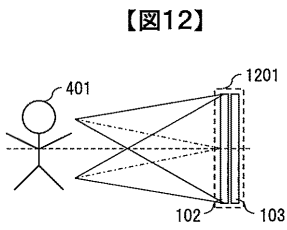
【図10】



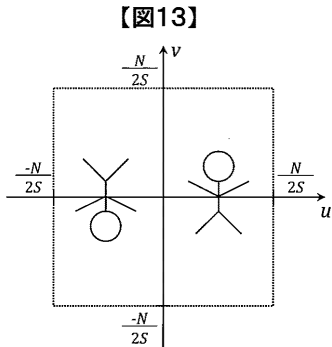
【図11】



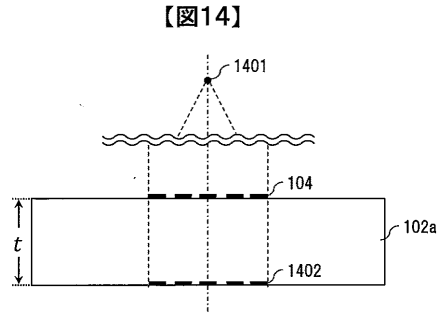
【図12】



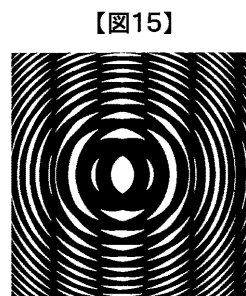
【図13】



【図14】

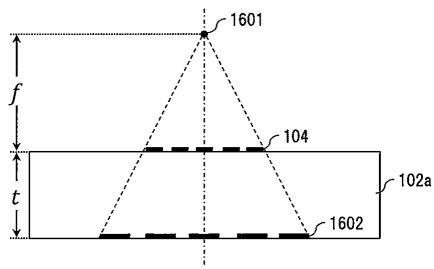


【図15】



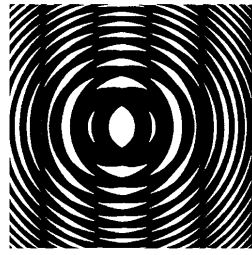
【図16】

【図16】



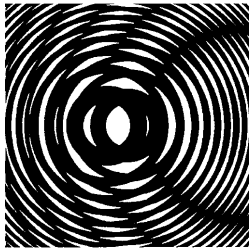
【図18】

【図18】



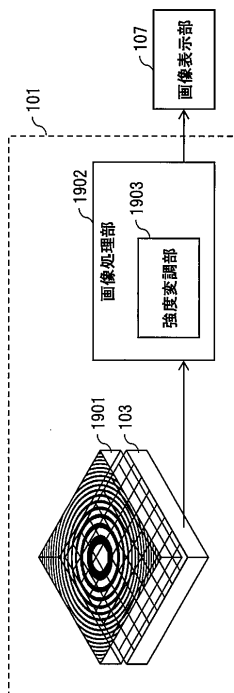
【図17】

【図17】



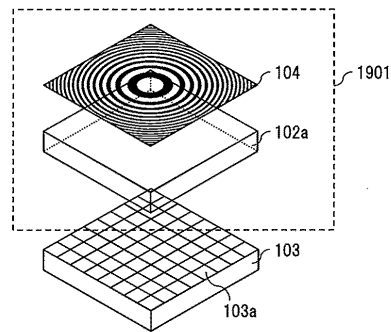
【図19】

【図19】

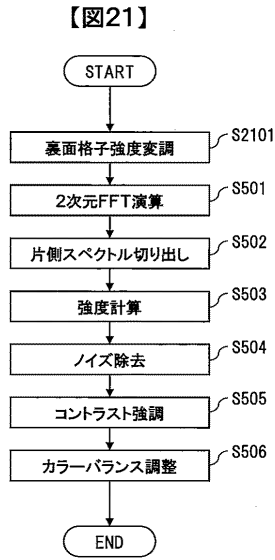


【図20】

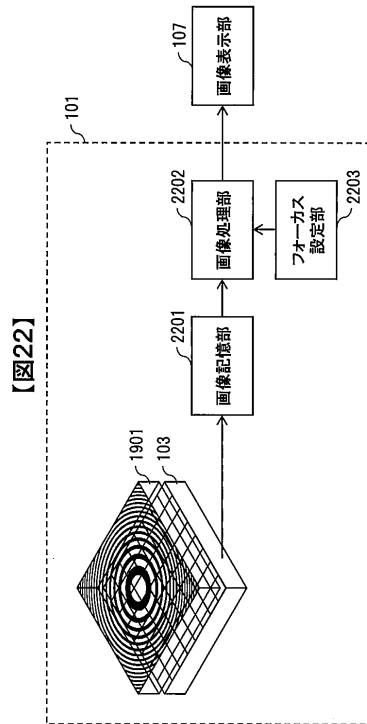
【図20】



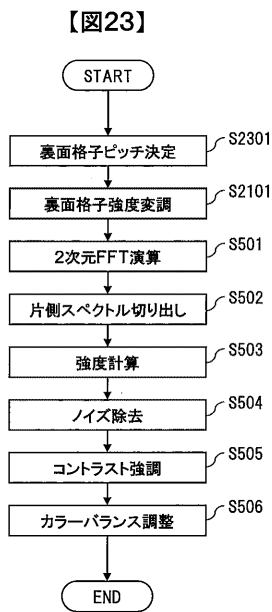
【図21】



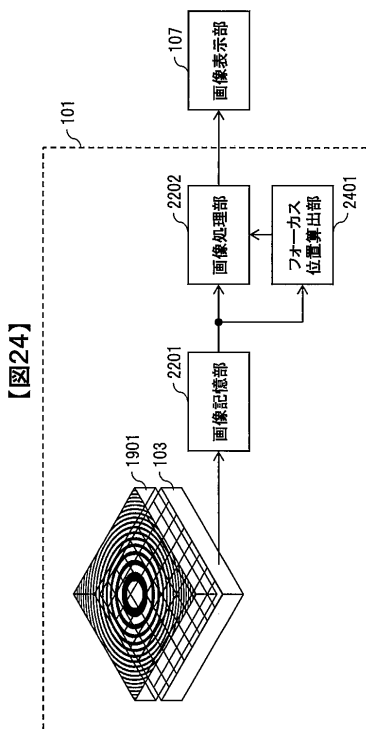
【図22】



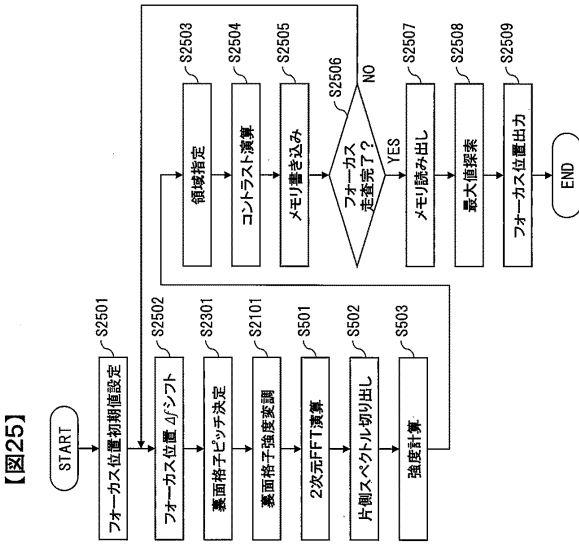
【図23】



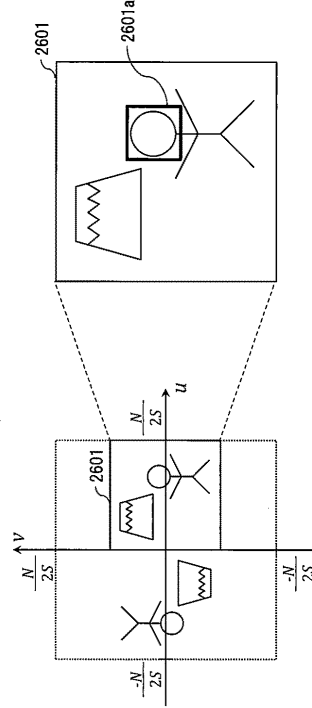
【図24】



【図25】

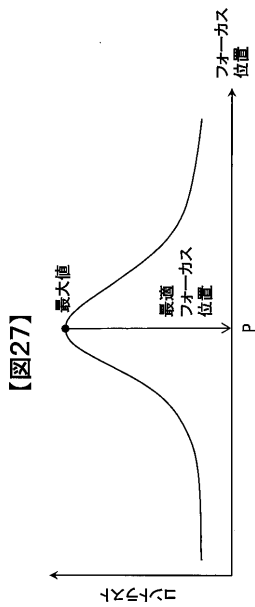


【図26】



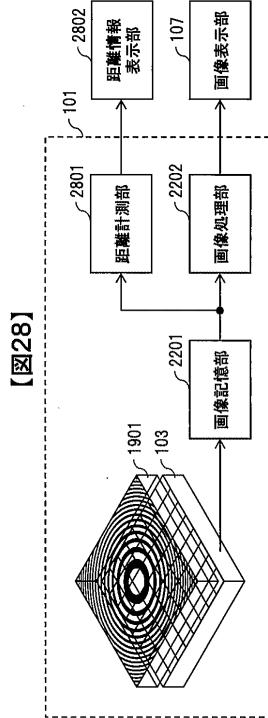
【図26】

【図27】



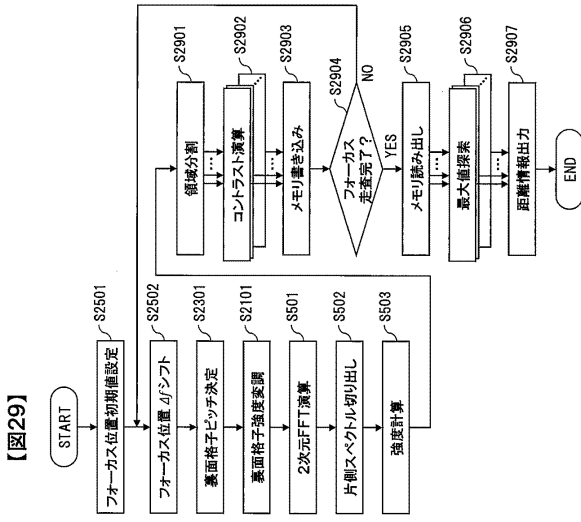
【図27】

【図28】

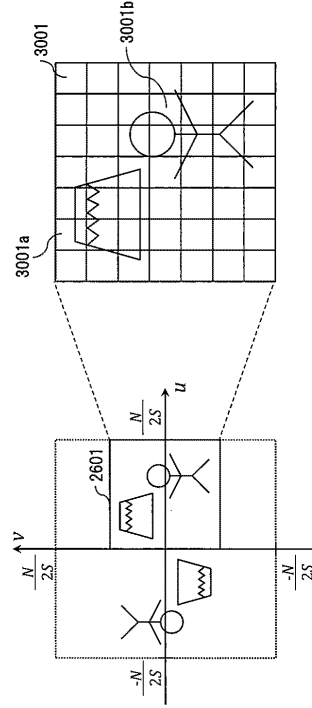


【図28】

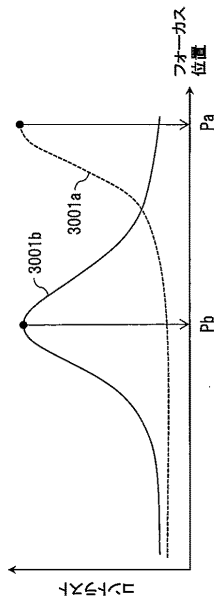
【図29】



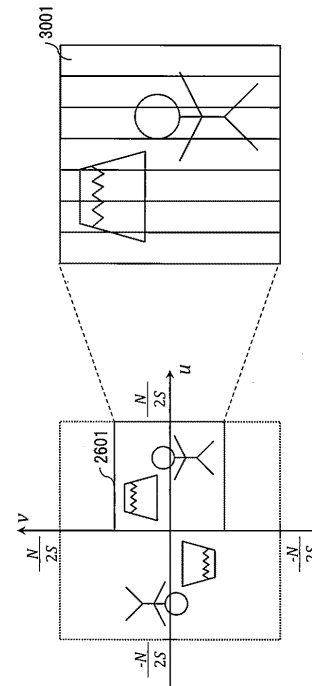
【図30】



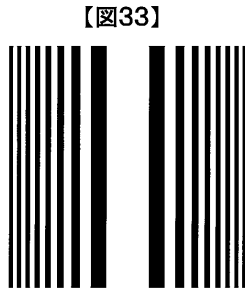
【図31】



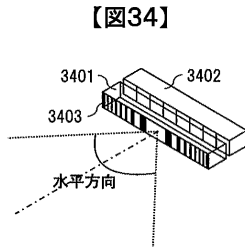
【図32】



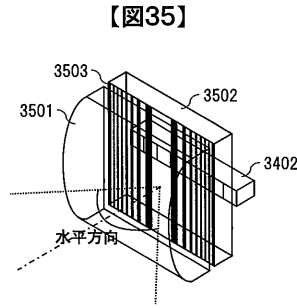
【図33】



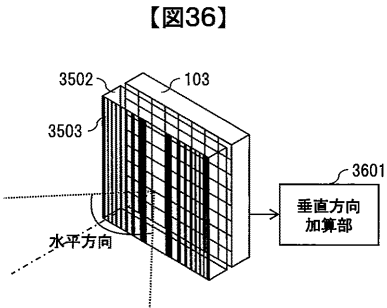
【図34】



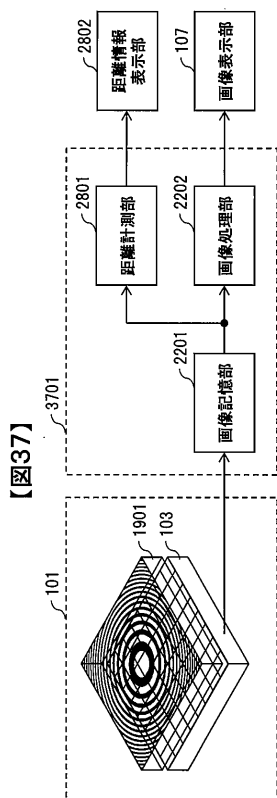
【図35】



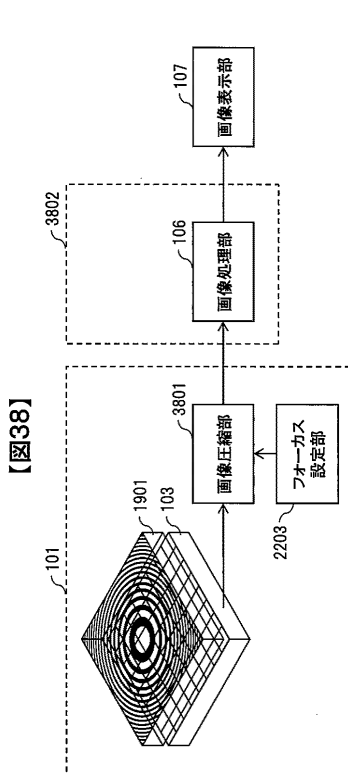
【図36】



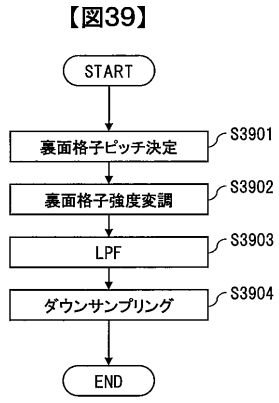
【図37】



【図38】



【図39】



---

フロントページの続き

(51)Int.Cl. F I  
G 0 2 B 5/18

(56)参考文献 特開2015-115527(JP,A)  
米国特許出願公開第2015/0219808(US,A1)  
国際公開第2016/203573(WO,A1)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)  
H 0 4 N 5 / 2 2 5  
G 0 2 B 5 / 1 8  
G 0 2 B 7 / 2 8  
G 0 3 B 3 / 0 0  
H 0 4 N 5 / 2 3 2