

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公開特許公報(A)

(11) 特許出願公開番号

特開2020-31327

(P2020-31327A)

(43) 公開日 令和2年2月27日(2020.2.27)

(51) Int.Cl.	F I	テーマコード(参考)
HO4N 5/225 (2006.01)	HO4N 5/225 300	5B057
GO3B 15/00 (2006.01)	GO3B 15/00 Z	5C122
HO4N 5/232 (2006.01)	HO4N 5/225 800	
GO6T 1/00 (2006.01)	HO4N 5/232 380	
	HO4N 5/232 290	

審査請求 未請求 請求項の数 6 O L (全 14 頁) 最終頁に続く

(21) 出願番号 特願2018-155651 (P2018-155651)
 (22) 出願日 平成30年8月22日 (2018. 8. 22)

(出願人による申告) 平成28年度、国立研究開発法人科学技術振興機構、戦略的創造研究推進事業、個人型研究(さきがけ)、「計測技術と高度情報処理の融合によるインテリジェント計測・解析手法の開発と応用」、「人工散乱体と圧縮センシングを融合した超小型撮像系による大規模画像計測」、産業技術力強化法第19条の適用を受ける特許出願

(71) 出願人 304021417
 国立大学法人東京工業大学
 東京都目黒区大岡山2丁目12番1号

(74) 代理人 100067736
 弁理士 小池 晃

(74) 代理人 100192212
 弁理士 河野 貴明

(74) 代理人 100204032
 弁理士 村上 浩之

(72) 発明者 中村 友哉
 東京都目黒区大岡山二丁目12番1号 国立大学法人東京工業大学内

(72) 発明者 山口 雅浩
 東京都目黒区大岡山二丁目12番1号 国立大学法人東京工業大学内

最終頁に続く

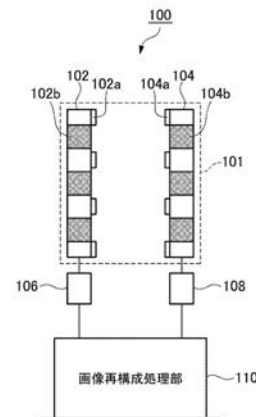
(54) 【発明の名称】 レンズレス撮像装置

(57) 【要約】

【課題】装置の小型化と画角が180度以上の広角撮像を実現する。

【解決手段】レンズレス撮像装置100であって、複数の孔部102b、104bと孔部の周縁に設置される光検出器102a、104aがそれぞれ設けられ、光検出器が設置される面が互いに対向して設けられる少なくとも一対のCMOSイメージセンサ102、104から構成される撮像部101と、光検出器から取得される撮像データに対して圧縮センシングに基づく画像再構成処理を行い被写体の撮像画像を出力する画像再構成処理部110と、を備え、撮像部は、一方のCMOSイメージセンサに設置される光検出器が他方のCMOSイメージセンサに開口された複数の孔部を介して得られる符号化光学像をスパースサンプリングし、画像再構成処理部は、光検出器からスパースサンプリングされた符号化光学像を圧縮センシングに基づき画像再構成して撮像画像を出力する。

【選択図】 図1



【特許請求の範囲】**【請求項 1】**

結像させるレンズを用いずに被写体を撮像可能なレンズレス撮像装置であって、

有効画素領域にランダムに開口された複数の孔部と該孔部の周縁に設置される光検出器がそれぞれ設けられ、かつ、該光検出器が設置される面が互いに対向するように設けられる少なくとも一対のＣＭＯＳイメージセンサから構成される撮像部と、

前記ＣＭＯＳイメージセンサの前記光検出器から取得される撮像データに対して圧縮センシングに基づく画像再構成処理を行い前記被写体の撮像画像を出力する画像再構成処理部と、を備え、

前記撮像部は、前記一対のＣＭＯＳイメージセンサのうち、一方のＣＭＯＳイメージセンサに設置される前記光検出器が他方のＣＭＯＳイメージセンサに開口された前記複数の孔部を介して得られる前記撮像データとして符号化光学像をスパースサンプリングし、

前記画像再構成処理部は、前記光検出器からスパースサンプリングされた前記符号化光学像を圧縮センシングに基づき画像再構成して前記撮像画像を出力することを特徴とするレンズレス撮像装置。

【請求項 2】

前記画像再構成処理部は、それぞれの前記ＣＭＯＳイメージセンサの前記光検出器からスパースサンプリングされた前記符号化光学像のスパース性を利用した逆解析により、圧縮センシングに基づく画像再構成を行うことを特徴とする請求項 1 に記載のレンズレス撮像装置。

【請求項 3】

前記一対のＣＭＯＳイメージセンサは、前記複数の孔部による開口率がそれぞれ略同一であることを特徴とする請求項 1 又は 2 に記載のレンズレス撮像装置。

【請求項 4】

前記複数の孔部は、前記ＣＭＯＳイメージセンサの縁部の領域を除いた有効画素領域のみに形成されることを特徴とする請求項 1 乃至 3 の何れか 1 項に記載のレンズレス撮像装置。

【請求項 5】

前記撮像部は、前記複数の孔部の周縁に前記光検出器が設置される面が互いに対向するように設けられる一対のＣＭＯＳイメージセンサから構成されることを特徴とする請求項 1 乃至 4 の何れか 1 項に記載のレンズレス撮像装置。

【請求項 6】

前記撮像部は、前記複数の孔部の周縁に前記光検出器が設置される面が互いに対向するように設けられる一対のＣＭＯＳイメージセンサのユニットが複数から構成される多面体形状であることを特徴とする請求項 1 乃至 4 の何れか 1 項に記載のレンズレス撮像装置。

【発明の詳細な説明】**【技術分野】****【0001】**

本発明は、結像させるレンズを用いることなく、被写体を撮像するレンズレス撮像装置に関する。

【背景技術】**【0002】**

近年では、スマートフォン等に搭載するデジタルカメラは、薄型化が必要とされている。この種のデジタルカメラの薄型化技術として、例えば、特許文献 1 には、レンズを用いることなく物体像を撮像可能な撮像システムが開示されている。当該撮像システムでは、画像センサ上に貼り付けられる基板の上面に形成される格子のパターンが渦巻き状等の特殊なパターンとなっている。このため、当該撮像システムで像を現像する際に、画像センサにて受光される射影パターンから逆問題を解くときの演算量が多いという問題があった。

【0003】

レンズを用いることなく物体像を得るデジタルカメラの薄型化を図る際に、現像処理に係る演算量を低減するために、例えば、特許文献2では、フレネルゾーンプレートによる符号化開口を用いて光線情報を取得する撮像装置が開示されている。当該撮像装置では、第1のパターンを有し、光の強度を変調する変調器を透過した光を画像センサが画像データに変換して出力し、画像処理部が当該画像データと第2のパターンを示すパターンデータとの相互相関演算に基づいて像を復元するものとなっている。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0004】

【特許文献1】米国特許出願公開第2014/0253781号明細書

【特許文献2】特開2018-061109号公報

【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、これらの手法では、光学系の薄型化や設計自由度の拡大に伴う高性能化が実現されるものの、撮像部を構成するイメージセンサの裏側を撮影できないため、当該撮像部で撮像可能な範囲を示す画角が180度未満のものとなっていた。撮像装置の薄型化や小型化の要請に応えるために開発されてきたレンズレス撮像装置においても、より簡素な構成で当該画角が180度以上の広角な撮像が実現されることが望まれる。

【0006】

本発明は、上記課題に鑑みてなされたものであり、より簡素な構成で装置を小型化した上で画角が180度以上の広角な撮像を実現することの可能な、新規かつ改良されたレンズレス撮像装置を提供することを目的とする。

【課題を解決するための手段】

【0007】

本発明の一態様は、結像させるレンズを用いずに被写体を撮像可能なレンズレス撮像装置であって、有効画素領域にランダムに開口された複数の孔部と該孔部の周縁に設置される光検出器がそれぞれ設けられ、かつ、該光検出器が設置される面が互いに対向するように設けられる少なくとも一对のCMOSイメージセンサから構成される撮像部と、前記CMOSイメージセンサの前記光検出器から取得される撮像データに対して圧縮センシングに基づき画像再構成処理を行い前記被写体の撮像画像を出力する画像再構成処理部と、を備え、前記撮像部は、前記一对のCMOSイメージセンサのうち、一方のCMOSイメージセンサに設置される前記光検出器が他方のCMOSイメージセンサに開口された前記複数の孔部を介して得られる前記撮像データとして符号化光学像をスパースサンプリングし、前記画像再構成処理部は、前記光検出器からスパースサンプリングされた前記符号化光学像を圧縮センシングに基づき画像再構成して前記撮像画像を出力することを特徴とする。

【0008】

本発明の一態様によれば、有効画素領域にランダムに複数の孔部を設けて対向配置させたCMOSイメージセンサ同士が符号化開口として機能して符号化光学像が得られるので、これら符号化光学像をスパースサンプリングして圧縮センシングに基づき画像再構成することによって、レンズレスで画角が180度以上の広角な撮像が実現できる。

【0009】

本発明の一態様では、前記画像再構成処理部は、それぞれの前記CMOSイメージセンサの前記光検出器からスパースサンプリングされた前記符号化光学像のスパース性を利用した逆解析により、圧縮センシングに基づき画像再構成を行うこととしてもよい。

【0010】

このようにすれば、撮像部で得られた符号化光学像のスパース性を利用した逆解析により、圧縮センシングに戻づく画像再構成を行えるので、レンズレスで画角が180度以上の広角な撮像が実現できる。

10

20

30

40

50

【 0 0 1 1 】

本発明の一態様では、前記一对のＣＭＯＳイメージセンサは、前記複数の孔部による開口率がそれぞれ略同一であることとしてもよい。

【 0 0 1 2 】

このようにすれば、各ＣＭＯＳイメージセンサから得られる符号化光学像のスパース性等が略同一になるので、より広角に均一な撮像が実現できる。

【 0 0 1 3 】

また、本発明の一態様では、前記複数の孔部は、前記ＣＭＯＳイメージセンサの縁部の領域を除いた有効画素領域のみに形成されることとしてもよい。

【 0 0 1 4 】

このようにすれば、ＣＭＯＳイメージセンサからの再構成画像の画質の劣化を抑制しながら、装置の小型化が実現できる。

【 0 0 1 5 】

また、本発明の一態様では、前記撮像部は、前記複数の孔部の周縁に前記光検出器が設置される面が互いに対向するように設けられる一对のＣＭＯＳイメージセンサから構成されることとしてもよい。

【 0 0 1 6 】

このようにすれば、撮像部をよりコンパクト化した上で、レンズレスで画角が１８０度以上の広角な撮像が実現できる。

【 0 0 1 7 】

また、本発明の一態様では、前記撮像部は、前記複数の孔部の周縁に前記光検出器が設置される面が互いに対向するように設けられる一对のＣＭＯＳイメージセンサのユニットが複数から構成される多面体形状であることとしてもよい。

【 0 0 1 8 】

このようにすれば、確実にレンズレスで全方位に向けた画角が大きい広角な撮像が実現できる。

【 発明の効果 】

【 0 0 1 9 】

以上説明したように本発明によれば、撮像部を一对のＣＭＯＳイメージセンサの有効画素領域にランダムに複数の孔部を設けて光検出器を設置した面を対向配置させる簡素な構成とすることによって、装置を小型化した上で画角が１８０度以上の広角な撮像をレンズレスで実現できるようになる。

【 図面の簡単な説明 】

【 0 0 2 0 】

【 図 1 】本発明の一実施形態に係るレンズレス撮像装置の概略構成を示すブロック図である。

【 図 2 】（ A ）乃至（ C ）は、本発明の一実施形態に係るレンズレス撮像装置に備わる撮像部の構成例を示す説明図である。

【 図 3 】本発明の一実施形態に係るレンズレス撮像装置の設計の一実施例を示す動作説明図である。

【 図 4 】本発明の一実施形態に係るレンズレス撮像装置の撮像動作及び画像再構成処理動作の一実施例を示す数理モデルによる動作説明図である。

【 図 5 】本発明の一実施形態に係るレンズレス撮像装置の実施例の動作原理を説明する説明図である。

【 図 6 】本発明の一実施形態に係るレンズレス撮像装置を設計する際に検討した画素孔部の幅に関するグラフである。

【 図 7 】本発明の一実施形態に係るレンズレス撮像装置の設計時における一実施例の撮像結果を示す説明図である。

【 図 8 】本発明の一実施形態に係るレンズレス撮像装置の設計時における撮像データの S / N、拘束項係数 の影響を検討した実施例の撮像結果を示す説明図である。

10

20

30

40

50

【図 9】本発明の一実施形態に係るレンズレス撮像装置の設計時における撮像データの物体依存性の影響を検討した実施例の撮像結果を示す説明図である。

【図 10】本発明の一実施形態に係るレンズレス撮像装置の設計時における開口エリア制限と再構成への影響を検討した実施例の撮像結果を示す説明図である。

【図 11】本発明の一実施形態に係るレンズレス撮像装置の設計時における CMOS イメージセンサの開口率とサンプリングレートの影響を検討した実施例の撮像結果を示す説明図である。

【図 12】本発明の一実施形態に係るレンズレス撮像装置の一実施例の構成を示す説明図である。

【発明を実施するための形態】

10

【0021】

以下、本発明の好適な実施の形態について詳細に説明する。なお、以下に説明する本実施形態は、特許請求の範囲に記載された本発明の内容を不当に限定するものではなく、本実施形態で説明される構成の全てが本発明の解決手段として必須であるとは限らない。

【0022】

まず、本発明の一実施形態に係るレンズレス撮像装置の概略構成について、図面を使用しながら説明する。図 1 は、本発明の一実施形態に係るレンズレス撮像装置の概略構成を示すブロック図である。

【0023】

本発明の一実施形態に係るレンズレス撮像装置 100 は、結像させるレンズを用いずに被写体を撮像可能とする撮像装置に適用される。特に、本実施形態のレンズレス撮像装置 100 は、撮像部を構成する光学系の薄型化や設計自由度の拡大に伴う高性能化を実現した上で、簡素な構成で装置の小型化と画角の 180 度以上の広角な撮像を実現させるために適用される。本実施形態のレンズレス撮像装置 100 は、図 1 に示すように、撮像部 101 と、画像再構成処理部 110 とを備える。

20

【0024】

撮像部 101 は、被写体となる撮像対象を撮像して得られた画素信号を撮像データに変換する機能を有する。本実施形態では、撮像部 101 は、図 1 に示すように、一对の CMOS イメージセンサ 102、104 と、これらの CMOS イメージセンサ 102、104 で取得される撮像データをそれぞれ取り込むインターフェース機能部 106、108 とを備える。

30

【0025】

本実施形態では、CMOS イメージセンサ 102、104 は、図 1 に示すように、それぞれの有効画素領域にランダムに開口された複数の孔部 102b、104b と、当該孔部 102b、104b の周縁に設置されるフォトダイオード等からなる光検出器 102a、104a がそれぞれ設けられている。そして、これらの CMOS イメージセンサ 102、104 は、光検出器 102a、104a が設置される面が互いに対向するように設けられている。

【0026】

CMOS イメージセンサ 102、104 には、シリコン材料等から構成される有効画素領域に Deep RIE 装置等で加工分解能や画素ピッチオーダー等を踏まえた穴あけ加工により、それぞれの有効画素領域にランダムに複数の孔部 102b、104b が形成される。CMOS イメージセンサ 102、104 は、有効画素領域の画素ごとに電荷の読み出しを行うので、孔部 102b、104b の空いた画素が混在していても、イメージセンサとして機能する。

40

【0027】

このように、一对の CMOS イメージセンサ 102、104 のそれぞれの有効画素領域にランダムに複数の孔部 102b、104b を開口して、かつ、CMOS イメージセンサ 102、104 の光検出器 102a、104a が設置される面が互いに対向するように配置させることによって、対向する各 CMOS イメージセンサ 102、104 は、互いに符

50

号化開口として機能するようになる。そして、各ＣＭＯＳイメージセンサ１０２、１０４の光検出器１０２a、１０４aは、それぞれ符号化光学像をスパースサンプリングする。

【００２８】

すなわち、一方のＣＭＯＳイメージセンサ１０２は、対向して設けられる符号化開口として機能する他方のＣＭＯＳイメージセンサ１０４の光検出器１０４aが設けられた面に対して背面側からの集光により、ＣＭＯＳイメージセンサ１０２の光検出器１０２aが符号化光学像をスパースサンプリングする。これに対して、他方のＣＭＯＳイメージセンサ１０４は、対向して設けられる符号化開口として機能する一方のＣＭＯＳイメージセンサ１０２の光検出器１０２aが設けられた面に対して背面側からの集光により、ＣＭＯＳイメージセンサ１０４の光検出器１０４aが符号化光学像をスパースサンプリングする。

10

【００２９】

このように、本実施形態では、一对のＣＭＯＳイメージセンサ１０２、１０４のそれぞれが対向側のＣＭＯＳイメージセンサ１０４、１０２を符号化開口として機能させることによって、対向する当該ＣＭＯＳイメージセンサ１０４、１０２の背面側に有する被写体を撮像できるようになる。このため、撮像部１０１は、双方のＣＭＯＳイメージセンサ１０２、１０４からの符号化光学像をスパースサンプリングすることによって、撮像部１０１の画角が１８０度以上の広角の撮像が可能になる。

【００３０】

また、本実施形態では、各ＣＭＯＳイメージセンサ１０２、１０４から得られる符号化光学像のスパース性等のバラつきを無くして、より広角に均一な撮像が実現するために、これらのＣＭＯＳイメージセンサ１０２、１０４は、複数の孔部１０２b、１０４bによる開口率がそれぞれ略同一としている。

20

【００３１】

インターフェース機能部１０６、１０８は、ＣＭＯＳイメージセンサ１０２、１０４の光検出器１０２a、１０４aからスパースサンプリングされた符号化光学像の撮像データを後続の画像再構成処理部１１０に送信するためのインターフェースとしてのデータ取得、メモリとしてのデータ記憶、及びこれらの動作を制御する制御部としての機能を有する。本実施形態では、これらのインターフェース機能部１０６、１０８は、装置の小型化を図り、設計自由度を高めるために、ＣＭＯＳイメージセンサ１０２、１０４の基板の有効画素領域の縁部側に設けられている。

30

【００３２】

画像再構成処理部１１０は、撮像部１０１から取得される撮像データに対して圧縮センシングに基づく画像再構成処理を行い、被写体の撮像画像を出力する機能を有する。本実施形態では、画像再構成処理部１１０は、撮像部１０１のＣＭＯＳイメージセンサ１０２、１０４の光検出器１０２a、１０４aから取得される撮像データに対して圧縮センシングに基づく画像再構成処理を行うことによって、被写体の撮像画像を出力する。

【００３３】

すなわち、本実施形態では、画像再構成処理部１１０は、ＣＭＯＳイメージセンサ１０２、１０４の光検出器１０２a、１０４aからスパースサンプリングされた符号化光学像を圧縮センシングに基づき画像再構成して撮像画像を出力する。具体的には、画像再構成処理部１１０は、それぞれのＣＭＯＳイメージセンサ１０２、１０４の光検出器１０２a、１０４aからスパースサンプリングされた符号化光学像のスパース性を利用した逆解析により、圧縮センシングに基づく画像再構成を行う。なお、画像再構成処理部１１０による圧縮センシングに基づく画像再構成の動作の具体的な実施例の詳細については、後述する。

40

【００３４】

このように、本実施形態では、撮像部１０１が有効画素領域にランダムに複数の孔部１０２b、１０４bを設けて対向配置させたＣＭＯＳイメージセンサ１０２、１０４から構成される。このため、これらＣＭＯＳイメージセンサ１０２、１０４同士が互いに符号化開口として機能するので、対向するＣＭＯＳイメージセンサ１０４、１０２の光検出器

50

04a、102aで符号化光学像が得られる。そして、これら符号化光学像をスパーササンプリングして後続の画像再構成処理部110が圧縮センシングに基づき画像再構成することによって、被写体の撮像画像が得られる。

【0035】

このため、CMOSイメージセンサ102、104の互いの背面側に有する被写体を撮像して得られた符号化光学像をスパーササンプリングしてから、画像再構成処理部110で圧縮センシングに基づき画像再構成して、歪みやノイズの少ない撮像画像が得られる。すなわち、より簡素な構成でレンズレス撮像装置100を小型化した上で、画角が180度以上の広角な撮像が実現されるようになる。

【0036】

なお、本実施形態では、撮像部101は、複数の孔部102b、104bの周縁に光検出器102a、104aが設置される面が互いに対向するように設けられる一対のCMOSイメージセンサ102、104から構成される例について説明しているが、かかる構成例に限定されない。すなわち、撮像部101は、互いに対向する少なくとも一対のCMOSイメージセンサから構成されていけばよい。

【0037】

例えば、図2(A)に示すように、本実施形態の撮像部101は、複数の孔部102b、104bの周縁に不図示の光検出器が設置される面が互いに対向するように設けられる一対のCMOSイメージセンサ102、104から構成されることによって、撮像部101をよりコンパクト化した上で、レンズレスで画角が180度以上の広角な撮像が実現できるようになってきている。このように、撮像部101をCMOSイメージセンサ二枚対面方式とすることによって、制御系やメモリを含めたイメージセンサ基板全体サイズを気にせず実装できるので、実現が比較的容易となる。

【0038】

また、図2(B)に示すように、撮像部201は、複数の孔部202bの周縁に不図示の光検出器が設置される面が互いに対向するように設けられる一対のCMOSイメージセンサ202のユニットが3つから構成される立方体方式としてもよい。撮像部201をこのような構成とすることによって、図2(A)の二枚対面方式と比べて、画角拡大効果が限定的にならずに、全方位撮影に近い効果が得られる。

【0039】

さらに、図2(C)に示すように、撮像部301は、複数の孔部の周縁に光検出器が設置される面が互いに対向するように設けられる一対のCMOSイメージセンサ302のユニットが4つ以上から構成される多面体方式や、正多面体の極限状態となる球体方式としてもよい。撮像部301をこのような構成とすることによって、確実にレンズレスで全方位に向けた画角が大きい広角な撮像が実現され、全方位撮影に近い効果が得られるようになる。

【0040】

次に、本発明の一実施形態に係るレンズレス撮像装置の原理実証シミュレーションの実施例について、図面を使用しながら説明する。

【0041】

図3は、本発明の一実施形態に係るレンズレス撮像装置の設計の一実施例を示す動作説明図である。本実施例では、本実施形態に係るレンズレス撮像装置を設計する過程において、互いに対向させる一対のCMOSイメージセンサ102、104の間隔、孔部102b、104bの幅、基板102c、104cに設けられる有効画素領域102d、104dの範囲等について、検討した。

【0042】

本実施例では、図3に示すように、CMOSイメージセンサ102、104の画素数が512×512、画素幅が60μm×60μm、間隔が2mm、基板102c、104cと有効画素領域102d、104dを合わせた厚さが1mmとした場合に、有効画素領域102d、104dは、基板102c、104cの縁部を除いた中央側に3.07cm×

10

20

30

40

50

3.07 cmの大きさを確保する必要があることが分かった。また、一方のCMOSイメージセンサ102に斜入射した光も対向するCMOSイメージセンサ104で検出できるようにするためには、有効画素領域102d、104dの端部側には、孔部102b、104bを設けない方が良いことが分かった。

【0043】

図4は、本発明の一実施形態に係るレンズレス撮像装置の撮像動作及び画像再構成処理動作の一実施例を示す数理モデルによる動作説明図である。本実施例では、図3に示すように、CMOSイメージセンサ102、104の振幅透過率をそれぞれ m_1 、 m_2 とした場合に、撮像対象となる物体 f （図4では、物体 f が点光源の場合を図示）を撮像して取得画像 g を得たときの撮像モデルと再構成モデルについて検討した。

10

【0044】

本実施例では、取得画像 g の撮像モデルは、CMOSイメージセンサ104の振幅透過率を m_2 、撮像対象となる物体 f 、系の点拡がり関数（PSF） h 、ノイズ n をそれぞれベクトル表示として表した場合に、ベクトル同士の畳み込み積分演算子を $*$ と表現すれば、下記の式（1）で表せる。

$$g = m_2 (h * f) + n \dots \dots (1)$$

【0045】

また、上記の式（1）で示される取得画像 g の撮像モデルで使用される系の点拡がり関数（PSF） h は、マスクの拡大作用を示す行列式 W 、CMOSイメージセンサ102の振幅透過率をベクトル表示で m_1 、CMOSイメージセンサ102による回折ボケをベクトル表示で b としてあらわした場合に、下記の式（2）で表せる。

20

$$h = W m_1 * b \dots \dots (2)$$

【0046】

一方、前述した撮像モデルに対する画像再構成処理部による処理結果を示す再構成モデルに関しては、取得画像 g の比例要素数が撮像対象となる物体 f の要素数より小さいので、圧縮センシングに基づく自然画像のスパース性を利用した逆解析により画像再構成を行う。その際に、本実施例では、下記の式（3）に示すように、TV正則化最小化問題を近接勾配法で解いて、再構成画像が求まることが分かった。

【0047】

【数1】

30

$$\hat{f} = \underset{f}{\operatorname{argmin}} \|g - m_2 \cdot (W m_1 * b * f)\|_{\ell_2} + \tau \|f\|_{\text{TV}} \quad (3)$$

【0048】

なお、上記の式（3）における左辺は、再構成画像を示し、右辺の $g - m_2 \cdot (W m_1 * b * f)$ は、データ忠実項を示し、右辺の定数 τ を含む項は、正則化項を示すものとする。

【0049】

40

図5は、本発明の一実施形態に係るレンズレス撮像装置の実施例の動作原理を説明する説明図である。本実施例では、回折ボケのモデルとそれを無視する根拠を示すものとなっている。点拡がり関数PSFは、図5に示すように、マスクとなるCMOSイメージセンサ102の幾何光学的な影でなく、それが回折によりぼけたものとなる開口幅 w が小さいか、又は伝搬距離 z が長い程、回折の影響が顕著となる。また、矩形開口のフラウンホーファー回折場は、近似的に sinc 関数で表せ、回折の拡がり幅 b_w は、 sinc 関数の第一零点間の距離とすると、下記の式（4）で表せる。

$$b_w = z / w \dots \dots (4)$$

【0050】

現在の設計パラメータでの具体値は、 b_w が $2.22 \mu\text{m}$ と近似できる。このため、今

50

回画素幅は、 $60\ \mu\text{m}$ であるので、回折ボケは、十分小さいものとして無視できることが分かった。また、穴幅又は画素幅が小さくなるにつれて、回折ボケが無視できなくなることに留意する必要があることが分かった。

【0051】

図6は、本発明の一実施形態に係るレンズレス撮像装置を設計する際に検討した画素孔部の幅に関するグラフである。本実施例では、空間解像度を最大化する画素穴の幅を決めるために、一对のCMOSイメージセンサ間の距離 z_i に対するマスクとなるCMOSイメージセンサの単位矩形穴幅と、波動光学的PSFの零値全幅との関係を検討した。図6に示すように、マスクの空間周波数と開口の回折ボケがトレードオフの関係であることから、各センサ間の距離 z_i が $1\ \text{mm}$ 、 $5\ \text{mm}$ 、 $10\ \text{mm}$ とした場合の波動光学的PSFの零値全幅が最小値となるマスクの単位矩形穴幅がそれぞれ $20\ \mu\text{m}$ 、 $50\ \mu\text{m}$ 、 $70\ \mu\text{m}$ となることが分かった。現時点では、実施容易な加工技術を考慮して、数 $100\ \mu\text{m}$ 程度の幅の穴あけを想定している。

10

【0052】

図7は、本発明の一実施形態に係るレンズレス撮像装置の設計時における一実施例の撮像結果を示す説明図である。本実施例では、撮像データを順モデル計算後に、輝度値を $[0\ 255]$ の整数に丸めて、 $40\ \text{dB}$ の加法性白色ガウス雑音(AWGN)を印加した。また、CMOSイメージセンサのマスクパターン検証のため、表と裏の視野に同じ物体があるとした。

20

【0053】

本実施例では、図7に示すように、加法性雑音、量子化誤差を考慮した上で自然画像を視認できる程度に再構成できることを確認された。また、本実施例では、拘束項の係数は、過度の平滑化とS/N低下のトレードオフを踏まえて適宜選択した。さらに、本実施例では、各CMOSイメージセンサは、異なるランダムマスクであったが、具体的な構造が違って大域的な性質が同じとなることが確認できた。

30

【0054】

図8は、本発明の一実施形態に係るレンズレス撮像装置の設計時における撮像データのS/N、拘束項係数の影響を検討した実施例の撮像結果を示す説明図である。本実施例では、加法性白色ガウス雑音(AWGN)を $20\ \text{dB}$ 、 $30\ \text{dB}$ 、 $40\ \text{dB}$ を印加した場合のS/N、拘束項係数の影響を検討した。図8に示すように、撮像データのS/Nが悪い場合、拘束項係数の大きい復号過程を経た平滑化された画像のみが再構成される旨が分かった。

40

【0055】

図9は、本発明の一実施形態に係るレンズレス撮像装置の設計時における撮像データの物体依存性の影響を検討した実施例の撮像結果を示す説明図である。本実施例では、加法性白色ガウス雑音(AWGN)を $40\ \text{dB}$ 、拘束項係数を 0.00001 、撮像データを $8\ \text{bit}$ とした場合における各撮像対象を撮像した場合の物体依存性を検討した。図9に示すように、本実施例から自然画像の範疇であれば、極端な対象依存性が無い旨が分かった。このため、本発明の一実施形態に係るレンズレス撮像装置が被写体の対象依存性がそれほどない態様で適用できることが分かった。

50

【0056】

図10は、本発明の一実施形態に係るレンズレス撮像装置の設計時における開口エリア制限と再構成への影響を検討した実施例の撮像結果を示す説明図である。本実施例では、図10に示すように、マスクとなるCMOSイメージセンサの開口サンプリングパターンを変更した場合における撮像対象となる物体の撮像データの再構成画像の優劣を検討した。図10に示すように、開口のマスクパターンが端部に設けられると、撮像光量が増加することから、再構成画像の画質が劣化することが分かった。このため、本発明の一実施形態に係るレンズレス撮像装置では、再構成画像の画質の劣化を抑制しながら、装置の小型化を実現させるために、複数の孔部をCMOSイメージセンサの縁部の領域を除いた有効画素領域のみにランダムに形成するものとした。

60

【 0 0 5 7 】

図 1 1 は、本発明の一実施形態に係るレンズレス撮像装置の設計時における CMOS イメージセンサの開口率とサンプリングレートの影響を検討した実施例の撮像結果を示す説明図である。本実施例では、図 1 1 に示すように、光量に影響する開口率と逆問題の安定性に影響するサンプリングレートがトレードオフの関係にあることが分かった。このため、本発明の一実施形態に係るレンズレス撮像装置では、CMOS イメージセンサの感度、想定する CMOS イメージセンサの S/N に基づき、CMOS イメージセンサの開口率とサンプリングレートを設計することとした。

【 0 0 5 8 】

図 1 2 は、本発明の一実施形態に係るレンズレス撮像装置の一実施例の構成を示す説明図である。前述した本発明の一実施形態に係るレンズレス撮像装置の原理実証シミュレーションの各実施例の結果内容に基づいて、装置を小型化した上で画角が 180 度以上の広角な撮像をレンズレスで実現する好適な実施例を定めた。

【 0 0 5 9 】

図 1 2 に示すように、有効画素領域が 3.07 cm (60 μm × 512 画素)、孔部の開口幅 480 μm (60 μm × 8 画素)、階調 8 bit、厚み 1 mm の CMOS イメージセンサ 402 を 2 枚それぞれ対向させて配置させれば、CMOS イメージセンサ 402 の光検出器が光を検出できる限界角度内領域となる撮像可能範囲として、当該 CMOS イメージセンサ 402 の表裏両面、すなわち、前後を同時に 50 度の範囲の画角で撮像できる超広角レンズレスカメラを構成できることが分かった。また、系の較正が完全に行えたと仮定すると、30 dB のノイズが加わった場合でも自然画像に対して PSNR が 20 dB 程度の画質を達成できることが分かった。

【 0 0 6 0 】

以上説明したように、本発明の一実施形態に係るレンズレス撮像装置を適用することによって、より簡素な構成で装置を小型化した上で画角が 180 度以上の広角な撮像を実現できるようになる。すなわち、本実施形態では、有効画素領域にランダムに穴あけ加工した CMOS イメージセンサを対向させた構成の撮像部で被写体を撮像し、当該撮像部での撮像データを圧縮センシング法に基づき撮像データの逆問題を解いて、被写体となる撮像物体像を再構成することによって、画角が 180 度以上の広角な撮像がレンズレスで実現されるようになる。

【 0 0 6 1 】

具体的には、本実施形態に係るレンズレス撮像装置を適用することによって、数 cm³ 程度の大きさの小型デバイスで全方位を撮像可能な超小型レンズレス撮像装置が実現される。このため、例えば、人体内部の全方位観察と三次元モデリングが可能な内視鏡や、瓦礫下等の狭い場所に潜り込む探索ロボット、存在に気づかれない程度の小型なドローン、装着感のない一人称ビジョン装置等に応用され得るので、極めて大きな工業的価値を有する。

【 0 0 6 2 】

なお、上記のように本発明の各実施形態及び各実施例について詳細に説明したが、本発明の新規事項及び効果から実体的に逸脱しない多くの変形が可能であることは、当業者には、容易に理解できるであろう。従って、このような変形例は、全て本発明の範囲に含まれるものとする。

【 0 0 6 3 】

例えば、明細書又は図面において、少なくとも一度、より広義又は同義な異なる用語と共に記載された用語は、明細書又は図面のいかなる箇所においても、その異なる用語に置き換えることができる。また、レンズレス撮像装置の構成、動作も本発明の各実施形態及び各実施例で説明したものに限定されず、種々の変形実施が可能である。

【 符号の説明 】

【 0 0 6 4 】

100 レンズレス撮像装置、101、201、301 撮像部、102、104、20

10

20

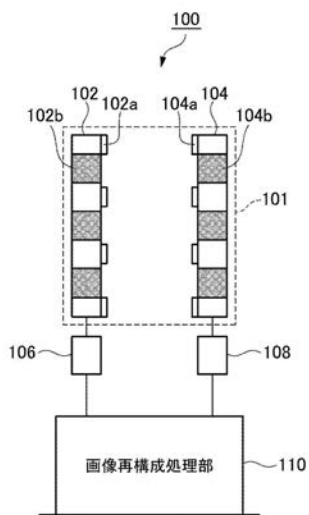
30

40

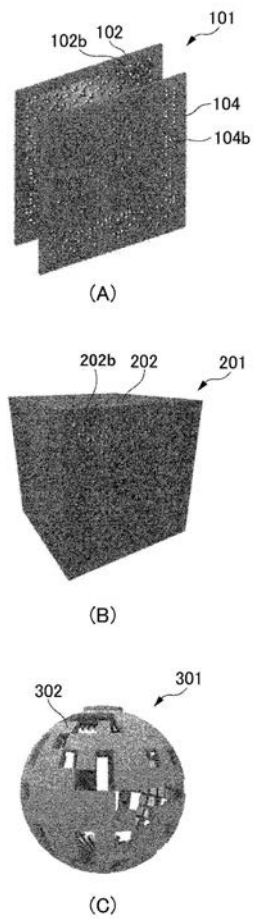
50

2、302、402 CMOSイメージセンサ、102a、104a 光検出器、102b、104b、202b 孔部、106、108 インターフェース機能部、110 画像再構成処理部

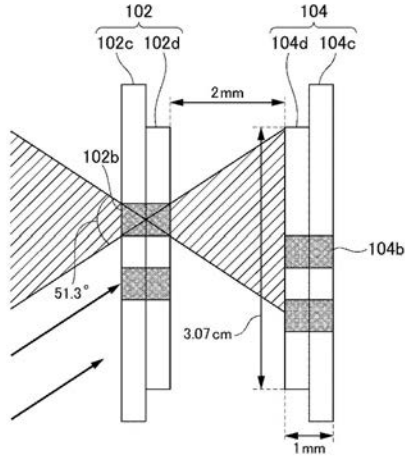
【図1】



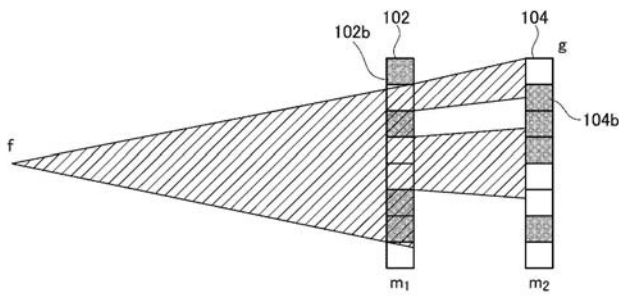
【図2】



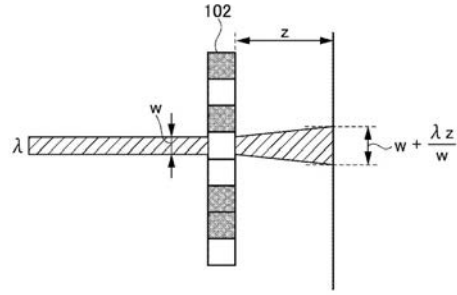
【 図 3 】



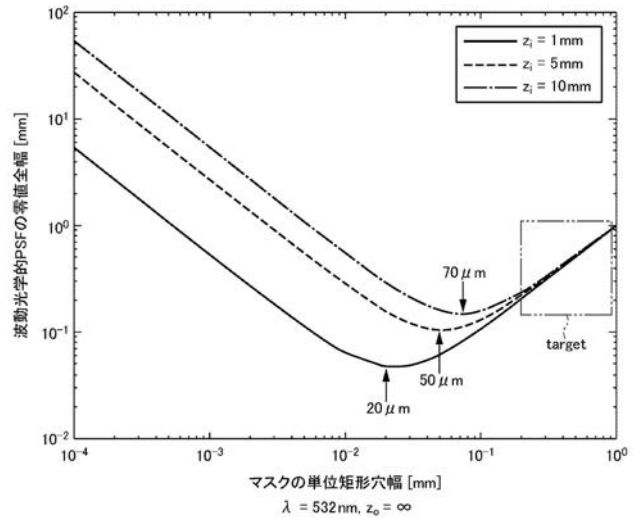
【 図 4 】



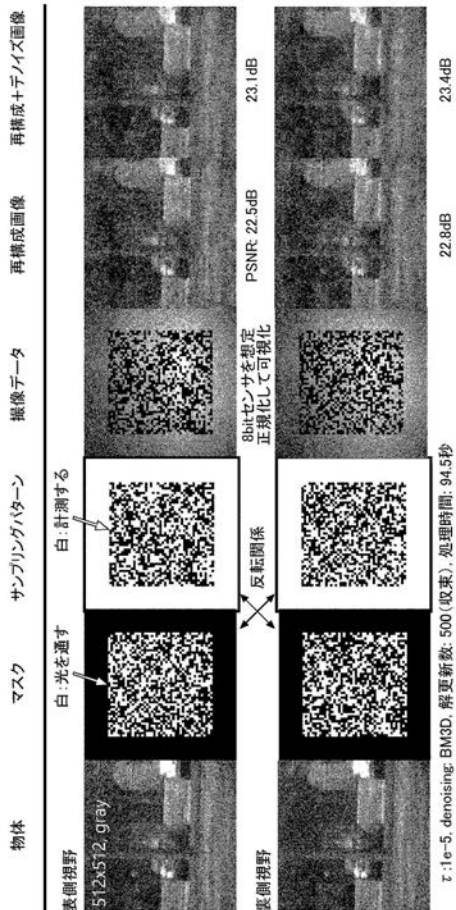
【 図 5 】



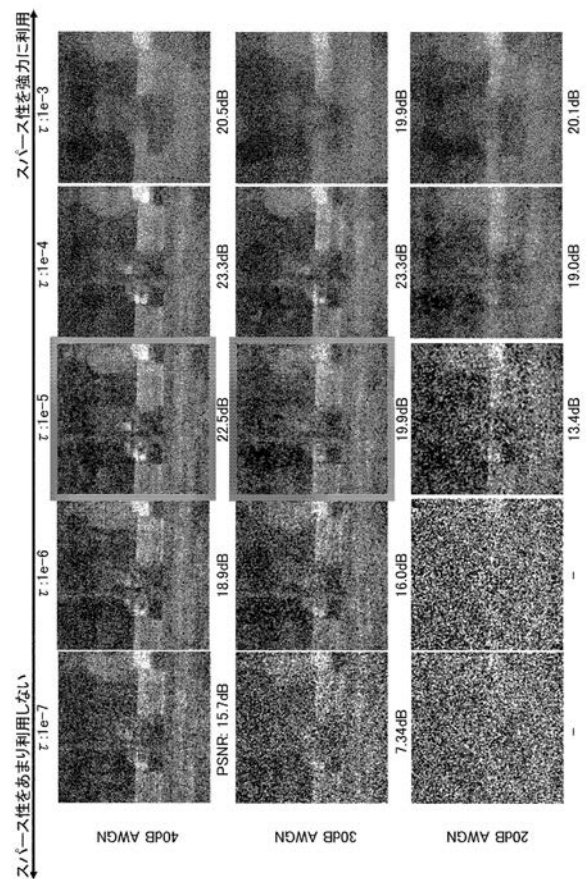
【 図 6 】



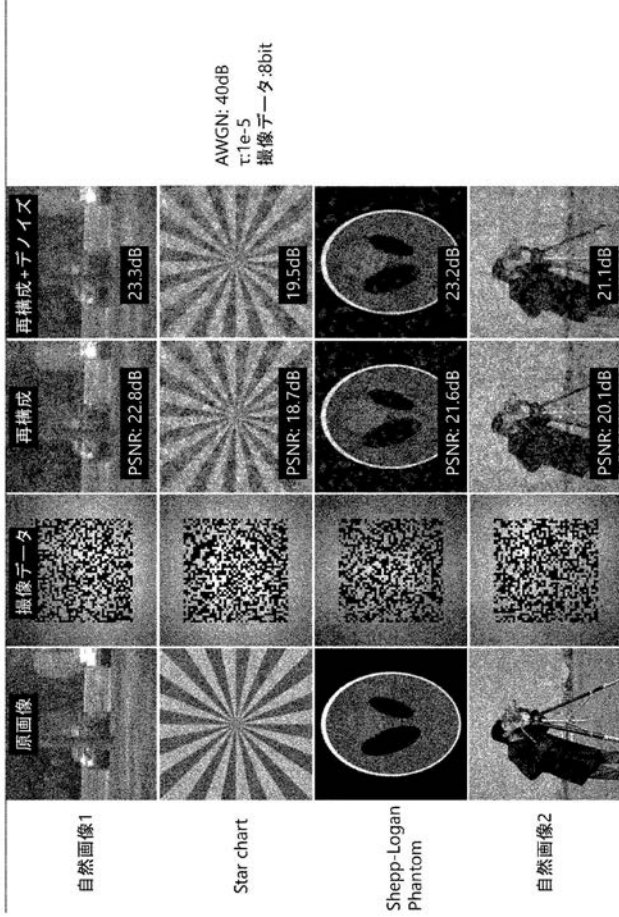
【 図 7 】



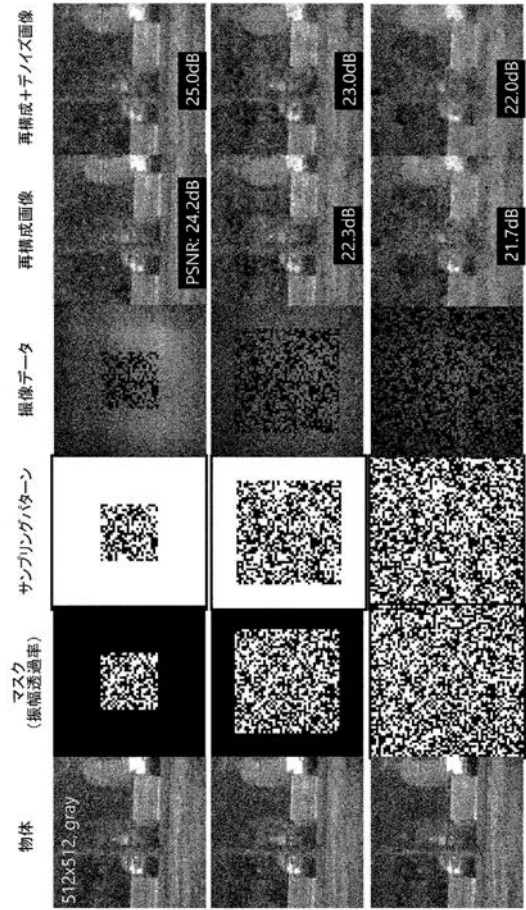
【 図 8 】



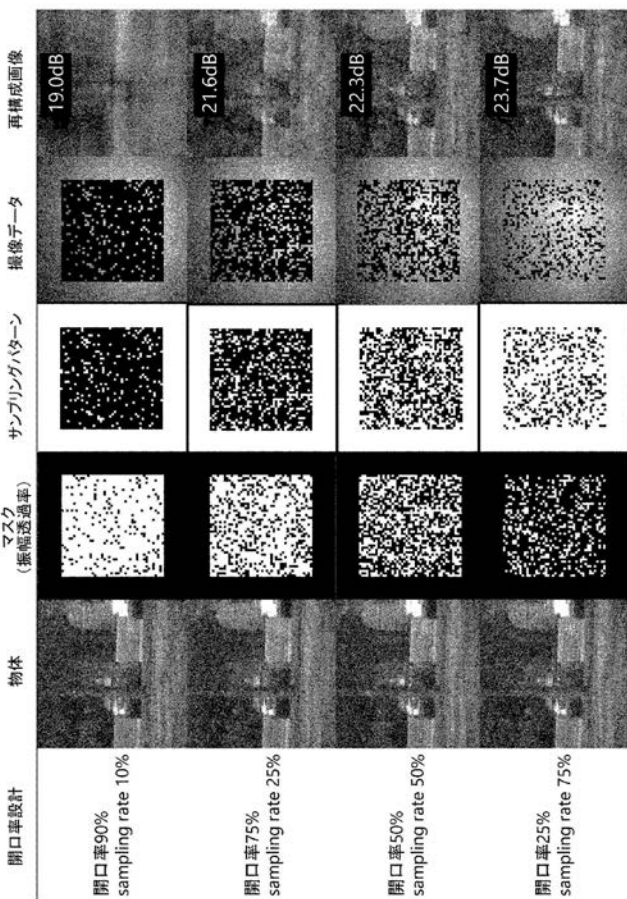
【 図 9 】



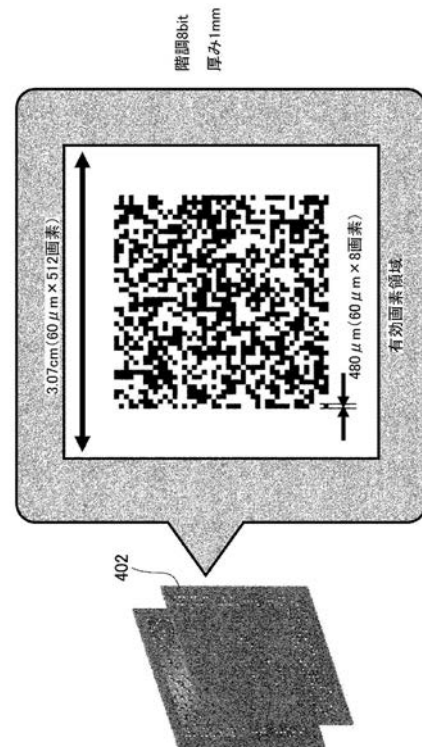
【 図 1 0 】



【 図 1 1 】



【 図 1 2 】



フロントページの続き

(51)Int.Cl.

F I

テーマコード(参考)

G 0 6 T 1/00 5 0 0 Z

Fターム(参考) 5B057 BA15 CA08 CA12 CA16 CB08 CB12 CB16 CE08
5C122 EA54 FA02 FC04 FH11 FH18 GE01 GE05 GE11 HA88