

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第6559011号  
(P6559011)

(45) 発行日 令和1年8月14日(2019.8.14)

(24) 登録日 令和1年7月26日(2019.7.26)

(51) Int.Cl.

F I

H O 4 N 5/232 (2006.01)

H O 4 N 5/232 2 9 0

G O 6 T 5/00 (2006.01)

G O 6 T 5/00 7 1 0

H O 4 N 1/40 (2006.01)

H O 4 N 1/40

請求項の数 15 (全 16 頁)

(21) 出願番号 特願2015-162363 (P2015-162363)  
 (22) 出願日 平成27年8月20日 (2015.8.20)  
 (65) 公開番号 特開2017-41764 (P2017-41764A)  
 (43) 公開日 平成29年2月23日 (2017.2.23)  
 審査請求日 平成30年8月9日 (2018.8.9)

(73) 特許権者 000001007  
 キヤノン株式会社  
 東京都大田区下丸子3丁目30番2号  
 (74) 代理人 100110412  
 弁理士 藤元 亮輔  
 (74) 代理人 100104628  
 弁理士 水本 敦也  
 (74) 代理人 100121614  
 弁理士 平山 倫也  
 (72) 発明者 白井 邦宏  
 東京都大田区下丸子3丁目30番2号 キ  
 ヤノン株式会社内

審査官 ▲徳▼田 賢二

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 画像処理装置、および画像処理方法

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

撮影画像の撮影条件を取得する取得手段と、

前記撮影条件に対応する光学伝達関数を用いて画像回復フィルタを生成する生成手段と、

前記撮影画像に対して、前記画像回復フィルタを用いて前記撮影画像を補正する処理を行う処理手段と、を有し、

前記処理手段は、前記撮影画像のノイズ特性に関する情報に基づいて、前記画像回復フィルタの最大ゲインを変更することを特徴とする画像処理装置。

【請求項2】

前記生成手段は、前記ノイズ特性に関する情報に基づく前記最大ゲインが所定値を超えないように、前記画像回復フィルタを生成することを特徴とする請求項1に記載の画像処理装置。

【請求項3】

$M(u, v)$  を前記画像回復フィルタの周波数ごとのゲイン、 $|H(u, v)|$  を前記光学伝達関数の周波数ごとの絶対値、および、 $F(\quad)$  を前記最大ゲインを規定する関数とすると、前記画像回復フィルタのゲイン特性が、

$$M(u, v) = \frac{1}{H(u, v)} \frac{|H(u, v)|^2}{|H(u, v)|^2 + F(\alpha)}$$

で示されることを特徴とする請求項 2 に記載の画像処理装置。

【請求項 4】

前記生成手段は、前記ノイズ特性に関する情報に基づく特定の周波数の前記最大ゲインが所定値を超えないように、前記画像回復フィルタを生成することを特徴とする請求項 1 に記載の画像処理装置。

10

【請求項 5】

$M(u, v)$  を前記画像回復フィルタの周波数ごとのゲイン、 $|H(u, v)|$  を前記光学伝達関数の周波数ごとの絶対値、 $F(G_{\max})$  を前記最大ゲインの関数、および、 $G(u, v)$  を周波数ごとの重み付けを示す関数とすると、前記画像回復フィルタのゲイン特性が、

$$M(u, v) = \frac{1}{H(u, v)} \frac{|H(u, v)|^2}{|H(u, v)|^2 + F(G_{\max})} G(u, v)$$

20

で示されることを特徴とする請求項 4 に記載の画像処理装置。

【請求項 6】

撮影画像の撮影条件を取得する取得手段と、

前記撮影条件に対応する光学伝達関数を用いて画像回復フィルタを生成する生成手段と、

前記撮影画像に対して、前記画像回復フィルタを用いて前記撮影画像を補正する処理を行う処理手段と、を有し、

30

前記処理手段は、前記撮影画像のノイズ特性に関する情報に基づいて、前記撮影画像と前記画像回復フィルタを用いて補正された画像とを所定の割合で足し合わせることを特徴とする画像処理装置。

【請求項 7】

前記処理手段は、前記画像回復フィルタに対応する特定の周波数のゲインを取得し、前記ノイズ特性に関する情報、および前記ゲインに基づいて、前記撮影画像と前記画像回復フィルタを用いて補正された画像とを前記所定の割合で足し合わせることを特徴とする請求項 6 に記載の画像処理装置。

【請求項 8】

前記処理手段は、前記ゲインが、前記ノイズ特性に関する情報に基づいて定められた値よりも小さい場合には、前記撮影画像と前記画像回復フィルタを用いて補正された画像とを足し合わせないことを特徴とする請求項 7 に記載の画像処理装置。

40

【請求項 9】

前記ノイズ特性に関する情報は、ISO 感度であることを特徴とする請求項 1 から 8 のいずれか 1 項に記載の画像処理装置。

【請求項 10】

前記ノイズ特性に関する情報は、前記撮影画像のオプティカルブラック領域の画像に基づいて算出されたノイズ成分であることを特徴とする請求項 1 から 8 のいずれか 1 項に記載の画像処理装置。

【請求項 11】

50

請求項 1 から 10 のいずれか 1 項に記載の画像処理装置と、  
前記撮影画像を生成する撮像素子と、を有することを特徴とする撮像装置。

【請求項 12】

コンピュータに請求項 1 から 10 のいずれか 1 項に記載の画像処理装置の各手段として機能させるためのプログラム。

【請求項 13】

請求項 12 に記載のプログラムを記録したコンピュータが読み取り可能な記録媒体。

【請求項 14】

撮影画像の撮影条件を取得するステップと、

前記撮影条件に対応する光学伝達関数を用いて画像回復フィルタを生成するステップと

10

、  
前記撮影画像に対して、前記画像回復フィルタを用いて前記撮影画像を補正する処理を行うステップと、を有し、

前記撮影画像を補正する処理において、前記撮影画像のノイズ特性に関する情報に基づいて、前記画像回復フィルタの最大ゲインを変更することを特徴とする画像処理方法。

【請求項 15】

撮影画像の撮影条件を取得するステップと、

前記撮影条件に対応する光学伝達関数を用いて画像回復フィルタを生成するステップと

、  
前記撮影画像に対して、前記画像回復フィルタを用いて前記撮影画像を補正する処理を行うステップと、を有し、

20

前記撮影画像を補正する処理において、前記撮影画像のノイズ特性に関する情報に基づいて、前記撮影画像と前記画像回復フィルタを用いて補正された画像とを所定の割合で足し合わせることを特徴とする画像処理方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、画像処理装置、および画像処理方法に関する。

【背景技術】

【0002】

30

撮像光学系で発生する回折や収差等の影響により、被写体の 1 点から発生した光は 1 点に収束せず、微小な広がりを持つ。このような微小な広がりを持つ分布を点像強度分布関数 (PSF, Point Spread Function) と呼ぶ。撮像光学系の影響により、撮影画像は、被写体像に PSF が畳み込まれて形成されることになり、画像がぼけて解像度が劣化する。

【0003】

近年、撮影画像を電子データとして保持することが一般的になり、画像処理によって光学系による画像劣化を補正する技術 (以下、画像回復技術という) が提案されている。しかしながら、画像処理によって画像回復する場合、特に劣化が大きい場合には補正量が大きくなり回復処理と同時にノイズデータも増幅してしまうという問題がある。そのため、もとの画像のノイズ量によっては回復処理を行うことでかえって好ましくない結果になることがある。

40

【0004】

特許文献 1 では、光学劣化情報のうち、PTF (Phase Transfer Function) 成分を画像回復処理で補正し、MTF (Modulation Transfer Function) 成分をシャープネス処理で補正する方法が開示されている。また、特許文献 2 では、画像回復処理によって補正した画像の品質を一定に保つために、画像回復時のフィルタゲインを一定に保つように設定する方法や、回復ゲインの値に応じて品質判定の基準値を変更する方法が開示されている。

【先行技術文献】

50

## 【特許文献】

【0005】

【特許文献1】特許第5546229号公報

【特許文献2】特開2009-033561号公報

## 【発明の概要】

## 【発明が解決しようとする課題】

【0006】

しかしながら、特許文献1の方法では、位相成分（PTF）は改善されるが、振幅成分（MTF）はシャープネス処理に依存してしまう。特に、ノイズの多い画像の場合はエッジ検出精度が低くなり、所望の回復効果は得られない。また、特許文献2の方法では、デジタルカメラのように様々な撮影状態で撮影されるものに対しては最適な結果を得られることはできない。

10

【0007】

このような課題に鑑みて、本発明は、光学特性に応じて、回復効果を維持するとともに良好な補正画像を取得可能な画像処理装置、撮像装置、プログラム、記憶媒体、および画像処理方法を提供する。

## 【課題を解決するための手段】

【0008】

本発明の一側面としての画像処理装置は、撮影画像の撮影条件を取得する取得手段と、前記撮影条件に対応する光学伝達関数を用いて画像回復フィルタを生成する生成手段と、前記撮影画像に対して、前記画像回復フィルタを用いて前記撮影画像を補正する処理を行う処理手段と、を有し、前記処理手段は、前記撮影画像のノイズ特性に関する情報に基づいて、前記画像回復フィルタの最大ゲインを変更することを特徴とする。

20

また、本発明の他の側面としての画像処理装置は、撮影画像の撮影条件を取得する取得手段と、前記撮影条件に対応する光学伝達関数を用いて画像回復フィルタを生成する生成手段と、前記撮影画像に対して、前記画像回復フィルタを用いて前記撮影画像を補正する処理を行う処理手段と、を有し、前記処理手段は、前記撮影画像のノイズ特性に関する情報に基づいて、前記撮影画像と前記画像回復フィルタを用いて補正された画像とを所定の割合で足し合わせることを特徴とする。

【0009】

30

また、本発明の他の側面としての画像処理方法は、撮影画像の撮影条件を取得するステップと、前記撮影条件に対応する光学伝達関数を用いて画像回復フィルタを生成するステップと、前記撮影画像に対して、前記画像回復フィルタを用いて前記撮影画像を補正する処理を行うステップと、を有し、前記撮影画像を補正する処理において、前記撮影画像のノイズ特性に関する情報に基づいて、前記画像回復フィルタの最大ゲインを変更することを特徴とする。

また、本発明の他の側面としての画像処理方法は、撮影画像の撮影条件を取得するステップと、前記撮影条件に対応する光学伝達関数を用いて画像回復フィルタを生成するステップと、前記撮影画像に対して、前記画像回復フィルタを用いて前記撮影画像を補正する処理を行うステップと、を有し、前記撮影画像を補正する処理において、前記撮影画像のノイズ特性に関する情報に基づいて、前記撮影画像と前記画像回復フィルタを用いて補正された画像とを所定の割合で足し合わせることを特徴とする。

40

## 【発明の効果】

【0010】

本発明によれば、光学特性に応じて、回復効果を維持するとともに良好な補正画像を取得可能な画像処理装置、撮像装置、プログラム、記憶媒体、および画像処理方法を提供することができる。

## 【図面の簡単な説明】

【0011】

【図1】本発明の実施形態に係る画像処理装置を備えた撮像装置のブロック図である。

50

【図 2】画像回復フィルタの説明図である。

【図 3】画像回復フィルタの説明図である。

【図 4】点像分布関数の説明図である。

【図 5】光学伝達関数の振幅成分と位相成分の説明図である。

【図 6】画像回復処理を示すフローチャートである（第 1 , 2 実施形態）。

【図 7】ISO 感度と最大ゲインの関係を示す図である（第 1 実施形態）。

【図 8】最大ゲインの説明図である（第 1 実施形態）。

【図 9】周波数ごとの重みづけ・ターゲット周波数の説明図である（第 2 実施形態）。

【図 10】画像回復処理を示すフローチャートである（第 3 実施形態）。

【図 11】最大ゲインの説明図である（第 3 実施形態）。

【図 12】最大ゲインと加重加算率の関係を示す図である（第 3 実施形態）。

【発明を実施するための形態】

【0012】

以下、本発明の実施形態について、図面を参照しながら詳細に説明する。各図において、同一の部材については同一の参照番号を付し、重複する説明は省略する。まず、本実施形態で説明される用語の定義および画像回復処理（画像処理方法）について説明する。ここで説明する画像回復処理は、後述の各実施形態において適宜用いられる。

〔入力画像〕

入力画像は、撮像光学系を介して撮像素子で受光することで得られたデジタル画像（撮影画像）であり、レンズと各種の光学フィルタ類を含む撮像光学系の収差による光学伝達関数 OTF により劣化している。撮像光学系は、レンズだけでなく曲率を有するミラー（反射面）を用いて構成することもできる。

【0013】

入力画像の色成分は、例えば RGB 色成分の情報を有する。色成分としては、これ以外にも LCH で表現される明度、色相、彩度や、YCbCr で表現される輝度、色差信号など一般に用いられている色空間を選択して用いることができる。その他の色空間として、XYZ, Lab, Yuv, JCh を用いることが可能である。更に、色温度を用いてもよい。

【0014】

入力画像や出力画像には、レンズの焦点距離、絞り値、撮影距離などの撮影条件や、この画像を補正するための各種の補正情報を付帯することができる。撮像装置から別の画像処理装置に画像を受け渡して補正処理を行う場合、撮影画像に撮影条件や補正に関する情報を付帯することが好ましい。撮影条件や補正に関する情報の他の受け渡し方法として、撮像装置と画像処理装置を直接または間接的に接続して受け渡すようにしてもよい。

〔画像回復処理〕

続いて、画像回復処理の概要について説明する。撮影画像（劣化画像）を  $g(x, y)$ 、もとの画像を  $f(x, y)$ 、光学伝達関数 OTF のフーリエペアである点像分布関数 PSF を  $h(x, y)$  としたとき、以下の式 (1) が成立する。

【0015】

$$g(x, y) = h(x, y) * f(x, y) \dots (1)$$

ここで、\* はコンボリューション（畳み込み積分、積和）、 $(x, y)$  は撮影画像上の座標である。

【0016】

また、式 (1) をフーリエ変換して周波数面での表示形式に変換すると、周波数ごとの積で表される式 (2) が得られる。

【0017】

$$G(u, v) = H(u, v) \cdot F(u, v) \dots (2)$$

ここで、H は点像分布関数 PSF ( $h$ ) をフーリエ変換することにより得られた光学伝達関数 OTF であり、G, F はそれぞれ劣化した画像  $g$ 、もとの画像  $f$  をフーリエ変換して得られた関数である。 $(u, v)$  は 2 次元周波数面での座標、すなわち周波数である。

## 【 0 0 1 8 】

撮影された劣化画像  $g$  からもとの画像  $f$  を得るには、以下の式 ( 3 ) のように両辺を光学伝達関数  $H$  で除算すればよい。

## 【 0 0 1 9 】

$$G(u, v) / H(u, v) = F(u, v) \quad (3)$$

$F(u, v)$ 、すなわち  $G(u, v) / H(u, v)$  を逆フーリエ変換して実面に戻すことにより、もとの画像  $f(x, y)$  が回復画像として得られる。

## 【 0 0 2 0 】

$H^{-1}$  を逆フーリエ変換したものを  $R$  とすると、以下の式 ( 4 ) のように実面での画像に対するコンボリューション処理を行うことで、同様にもとの画像  $f(x, y)$  を得ることができる。

## 【 0 0 2 1 】

$$g(x, y) * R(x, y) = f(x, y) \quad (4)$$

ここで、 $R(x, y)$  は、画像回復フィルタと呼ばれる。画像が 2 次元画像である場合、一般的に、画像回復フィルタ  $R$  も画像の各画素に対応したタップ (セル) を有する 2 次元フィルタとなる。また、画像回復フィルタ  $R$  のタップ数 (セルの数) は、一般的に多いほど回復精度が向上する。このため、要求画質、画像処理能力、収差の特性等に応じて実現可能なタップ数が設定される。画像回復フィルタ  $R$  は、少なくとも収差の特性を反映している必要があるため、従来の水平垂直各 3 タップ程度のエッジ強調フィルタ (ハイパスフィルタ) などとは異なる。画像回復フィルタ  $R$  は、光学伝達関数  $OTF$  に基づいて設定されるため、振幅成分および位相成分の劣化の両方を高精度に補正することができる。

## 【 0 0 2 2 】

また、実際の画像にはノイズ成分が含まれるため、上記のように光学伝達関数  $OTF$  の逆数をとって作成した画像回復フィルタ  $R$  を用いると、劣化画像の回復とともにノイズ成分が大幅に増幅されてしまう。これは、画像の振幅成分にノイズの振幅が付加されている状態に対して、光学系の  $MTF$  (振幅成分) を全周波数に渡って 1 に戻すように  $MTF$  を持ち上げるためである。光学系による振幅劣化である  $MTF$  は 1 に戻るが、同時にノイズのパワースペクトルも持ち上がってしまい、結果的に  $MTF$  を持ち上げる度合 (回復ゲイン) に応じてノイズが増幅されてしまう。

## 【 0 0 2 3 】

したがって、ノイズが含まれる場合には、鑑賞用画像としては良好な画像は得られない。このことは、以下の式 ( 5 - 1 )、( 5 - 2 ) で表される。

## 【 0 0 2 4 】

$$G(u, v) = H(u, v) \cdot F(u, v) + N(u, v) \quad (5 - 1)$$

$$G(u, v) / H(u, v) = F(u, v) + N(u, v) / H(u, v) \quad (5 - 2)$$

ここで、 $N$  はノイズ成分である。

## 【 0 0 2 5 】

ノイズ成分が含まれる画像に関しては、例えば以下の式 ( 6 ) で表されるウィナーフィルタのように、画像信号とノイズ信号の強度比  $SNR$  に応じて回復度合を制御する方法がある。

## 【 0 0 2 6 】

## 【 数 1 】

$$M(u, v) = \frac{1}{H(u, v)} \frac{|H(u, v)|^2}{|H(u, v)|^2 + C} \quad \dots (6)$$

## 【 0 0 2 7 】

ここで、 $M(u, v)$  はウィナーフィルタの周波数特性、 $|H(u, v)|$  は光学伝達関数  $OTF$  の絶対値 ( $MTF$ )、 $C$  は定数である。この方法では、周波数ごとに、 $MTF$  が小さいほど回復ゲイン (回復度合) を小さくし、 $MTF$  が大きいほど回復ゲインを大きく

する。一般的に、撮像光学系のMTFは低周波側が高く高周波側が低くなるため、この方法では、実質的に画像の高周波側の回復ゲインを低減することになる。

【0028】

続いて、図2および図3を参照して、画像回復フィルタについて説明する。画像回復フィルタは、撮像光学系の収差特性や要求される回復精度に応じてそのタップ数が決定される。図2の画像回復フィルタは、一例として、 $11 \times 11$ タップの2次元フィルタである。図2では、各タップ内の値(係数)を省略しているが、この画像回復フィルタの一断面を図3に示す。画像回復フィルタの各タップの値(係数値)の分布は、収差により空間的に広がった信号値(PSF)を、理想的には元の1点に戻す機能を有する。

【0029】

画像回復フィルタの各タップは、画像の各画素に対応して画像回復処理の工程でコンボリューション処理(畳み込み積分、積和)される。コンボリューション処理では、所定の画素の信号値を改善するために、その画素を画像回復フィルタの中心と一致させる。そして、画像と画像回復フィルタの対応画素ごとに画像の信号値とフィルタの係数値の積をとり、その総和を中心画素の信号値として置き換える。

【0030】

続いて、図4および図5を参照して、画像回復の実空間と周波数空間での特性について説明する。図4は点像分布関数PSFの説明図であり、(a)は画像回復前の点像分布関数PSF、(b)は画像回復後の点像分布関数PSFを示している。図5は、光学伝達関数OTFの振幅成分MTF(図5(a))と位相成分PTF(図5(b))の説明図である。図5(a)中の破線(A)は画像回復前のMTF、一点鎖線(B)は画像回復後のMTFを示す。また、図5(b)中の破線(A)は画像回復前のPTF、一点鎖線(B)は画像回復後のPTFを示す。図4(a)に示されるように、画像回復前の点像分布関数PSFは、非対称な広がりをも有し、この非対称性により位相成分PTFは周波数に対して非直線的な値を有する。画像回復処理は、振幅成分MTFを増幅し、位相成分PTFがゼロになるように補正するため、画像回復後の点像分布関数PSFは対称で先鋭な形状になる。

【0031】

このように画像回復フィルタは、撮像光学系の光学伝達関数OTFの逆関数に基づいて設計された関数を逆フーリエ変換して得ることができる。本実施形態で用いられる画像回復フィルタは適宜変更可能であり、例えば上述のようなウィナーフィルタを用いることができる。ウィナーフィルタを用いる場合、式(6)を逆フーリエ変換することで、実際に画像に畳み込む実空間の画像回復フィルタを作成することが可能である。また、光学伝達関数OTFは1つの撮影状態においても撮像光学系の像高(画像の位置)に応じて変化する。このため、画像回復フィルタは像高に応じて変更して用いられる。

〔撮像装置〕

図1を参照して、本発明の実施形態に係る画像処理装置を備えた撮像装置200について説明する。図1は、撮像装置200の構成図である。撮像装置200には、撮影画像の画像回復処理を行う画像処理プログラムがインストールされており、この画像回復処理は撮像装置200の内部の画像処理部(画像処理装置)204により実行される。

【0032】

撮像装置200は、撮像光学系(レンズ)201および撮像装置本体(カメラ本体)を備える。撮像光学系201は、絞り201aおよびフォーカスレンズ201bを備え、撮像装置本体(カメラ本体)と一体的に構成されている。ただし、本発明はこれに限定されるものではなく、撮像光学系201が撮像装置本体に対して交換可能に装着される撮像装置にも適用可能である。

【0033】

撮像素子202は、CCDやCMOSセンサで構成され、撮像光学系201を介して得られた被写体像(結像光)を光電変換して撮影画像を生成する。すなわち、被写体像は、撮像素子202による光電変換でアナログ信号(電気信号)に変換される。そして、この

10

20

30

40

50

アナログ信号はA / Dコンバータ203によりデジタル信号に変換され、このデジタル信号は画像処理部204に入力される。

【0034】

画像処理部204は、デジタル信号に対して所定の処理を行うとともに、画像回復処理を行う。画像処理部204は、図1に示されるように、撮影条件取得部(第1の取得手段)204a、光学伝達関数取得部(第2の取得手段)、および処理部(処理手段)を備える。撮影条件取得部(取得手段)204aは、状態検出部207から撮像装置の撮影条件を取得する。撮影条件とは、絞り、撮影距離、または、ズームレンズの焦点距離等である。状態検出部207は、システムコントローラ210から直接撮影条件を取得してもよいし、撮像光学系制御部206から取得してもよい。

10

【0035】

光学伝達関数OTF、または光学伝達関数OTFの生成に必要な係数データは、記憶部(記憶手段)208に保持されている。記憶部208は、例えばROMで構成される。画像処理部204で処理した出力画像は、画像記録媒体209に所定のフォーマットで保存される。液晶モニタや有機ELディスプレイで構成された表示部205には、画像回復処理を行った画像に表示用の所定の処理を行った画像が表示される。ただし、表示部205に表示する画像はこれに限定されるものではなく、高速表示のために簡易処理を行った画像を表示部205に表示するようにしてもよい。

【0036】

システムコントローラは、撮像装置200内の一連の制御を行う。撮像光学系201の機械的な駆動はシステムコントローラ210の指示に基づいて撮像光学系制御部206により行われる。撮像光学系制御部206は、Fナンバーの撮影状態設定として、絞り201aの開口径を制御する。また、撮像光学系制御部206は、被写体距離に応じてピント調整を行うため、不図示のオートフォーカス(AF)機構や手動のマニュアルフォーカス機構により、フォーカスレンズ201bの位置を制御する。なお、絞り201aの開口径制御やマニュアルフォーカスなどの機能は、撮像装置200の仕様に応じて実行しなくてもよい。

20

【0037】

なお、ローパスフィルタや赤外線カットフィルタ等の光学素子を撮像光学系201内に配置してもよいが、ローパスフィルタ等の光学伝達関数OTFの特性に影響を与える素子を用いる場合、画像回復フィルタを作成する時点での考慮が必要になる場合がある。赤外線カットフィルタに関しても、分光波長の点像分布関数(PSF)の積分値であるRGBチャンネルの各PSF、特にRチャンネルのPSFに影響するため、画像回復フィルタを作成する時点での考慮が必要になる場合がある。

30

【0038】

なお、画像処理部204はASICで構成され、撮像光学系制御部206、状態検出部207、およびシステムコントローラ210はそれぞれCPUまたはMPUによって構成されている。また、これら画像処理部204、撮像光学系制御部206、状態検出部207、およびシステムコントローラ210のうちの1つ以上を、同じCPUあるいはMPUで兼用して構成するようにしてもよい。

40

[第1実施形態]

図6を参照して、本実施形態の画像回復処理について説明する。図6は、画像回復処理を示すフローチャートである。図6のフローチャートは、画像処理部204の指令に基づいて実行される。

【0039】

ステップS11では、撮影画像を取得する。撮影された画像は、記憶部208に保存される。また、撮影画像として、画像記録媒体209に保存されている画像を取得してもよい。

【0040】

ステップS12では、撮影条件取得部204aが撮影条件を取得する。撮影条件とは、

50



撮像光学系 201 の焦点距離、絞り値、および、撮影距離等である。また、撮影時のノイズ特性（例えば、ISO 感度）等も同時に取得する。レンズがカメラ本体に交換可能に装着される撮像装置の場合、撮影条件はさらにレンズ ID やカメラ ID を含む。撮影条件は、撮像装置から直接取得してもよいし、画像に付帯された情報から取得してもよい。

#### 【0041】

ステップ S13 では、光学伝達関数取得部 204b がステップ S12 で取得された撮影条件に適した光学伝達関数 OTF を取得する。光学伝達関数 OTF は、あらかじめ保持された複数の光学伝達関数 OTF の中から選択する。また、光学伝達関数 OTF を生成するための関数とその生成に用いられる係数群をあらかじめ保持しておき、撮影条件に適した光学伝達関数 OTF を新たに生成してもよい。さらに、あらかじめ保持されている光学伝達関数 OTF から補間処理により撮影条件に適した光学伝達関数 OTF を生成してもよい。この場合、保持する画像回復フィルタのデータ量を低減することが可能である。補間処理としては、例えば、バイリニア補間（線形補間）やバイキュービック補間等が用いられるが、これらに限定されるものではない。

#### 【0042】

ステップ S14 では、ステップ S12 で取得された撮影条件のうち ISO 感度に応じて、記憶部 208 に保存されている図 7 の特性テーブルから撮影時に適用可能な最大ゲインを取得する。図 7 は、ISO 感度と最大ゲインの関係の一例を示す図である。図 7 において、横軸は ISO 感度、縦軸は最大ゲインを表す。図 7 の特性テーブルは、システムで許容可能な最大ゲイン  $G_{max}$ 、効果を出すために最低限必要な最小ゲイン  $G_{min}$ 、およびこれらの値を切り替える ISO 感度  $a$ 、 $b$  が設定され、その間の ISO 感度は線形で補間される。

#### 【0043】

画像回復処理では、式 (6) で表されるウィナーフィルタのような式を用いて回復フィルタ特性を算出する必要がある。通常は式 (6) 中の定数  $C$  を決定することで、回復フィルタ特性を算出する。しかしながら、撮像装置 200 を使用する場合、撮像素子 202 の読み出し方法によって出力される画像の  $S/N$  比が変わってしまう可能性がある。 $S/N$  比が変わってしまう要因として、代表的なものに ISO 感度設定が挙げられる。ISO 感度設定とは、例えば、暗い被写体を所定の絞り値やシャッター速度で撮影を行う場合、撮像素子 202 や A/D コンバータ 203 で画像信号にゲインをかけることにより所望の明るさの画像が取得できる設定である。ゲインが大きくなると撮影画像に重畳されるノイズ信号が増幅され、出力画像はノイズが目立つざらついた画像になってしまう。ISO 感度設定以外にも長秒撮影や動画撮影など駆動方法が変わると  $S/N$  比が変わってしまうこともあるが、本実施形態では簡単のため ISO 感度設定の場合について説明する。所定の条件で決定された式 (6) 中の定数  $C$  を ISO 感度に変更された場合も使用した場合、画像回復フィルタが想定した条件よりも  $S/N$  比が悪い状態の画像に適用される場合がある。このとき、画像回復フィルタがノイズを増幅させてしまい、撮影画像には好ましくない。そのため、ISO 感度に応じて、画像回復フィルタで設定できる最大ゲインを規定することが好ましい。

#### 【0044】

なお、本実施形態では ISO 感度と最大ゲインの特性テーブルを保存している場合について説明したが、撮影画像の OB (Optical Black) 領域等から画像のノイズ成分を推測して最大ゲインを算出してもよい。その場合、記憶部 208 は、横軸が撮影画像の  $S/N$ 、縦軸が最大ゲインのテーブルを保持しておけばよい。また、長秒撮影や動画撮影などの場合も同様の手法で最大ゲインを取得する。

#### 【0045】

ステップ S15 では、処理部 204c が、撮像光学系 201 の光学伝達関数 OTF を用いて、ISO 感度に応じたゲイン特性を有する画像回復フィルタを生成する。生成された画像回復フィルタは、撮像素子 202 のノイズ特性という観点から光学伝達関数 OTF の特性を加味して取得された画像回復フィルタである。

## 【 0 0 4 6 】

ここで、図 8 を参照して、画像回復フィルタの生成方法について説明する。図 8 ( a ) は、それぞれ異なる光学特性 ( A ) , ( B ) の M T F 特性を示す図である。図 8 ( a ) において、横軸は空間周波数、縦軸は振幅特性 ( M T F ) を表す。図 8 ( b ) は、式 ( 6 ) で表されるウィナーフィルタで画像回復フィルタを生成した場合のゲイン特性を示す図である。図 8 ( b ) において、横軸は空間周波数、縦軸はゲインを表す。式 ( 6 ) では高周波側でゲインを落とすように定数 C が組み込まれているが、図 8 ( b ) に示されるようにゲインの落ち方は元の光学特性によって異なる。図 8 ( b ) では、光学特性 ( A ) の場合は周波数  $f_a$  で最大ゲインが  $G_{max}(A)$ 、光学特性 ( B ) の場合は周波数  $f_b$  で最大ゲインが  $G_{max}(B)$  になる。この場合、高周波側でゲインは低減するが、最大ゲインは元の光学特性に影響されるため、最終的な画像のノイズ増幅の影響を管理することは難しい。

10

## 【 0 0 4 7 】

そこで、本実施形態では、図 8 ( c ) に示されるように、元の光学特性に影響されないように、最大ゲインを所定値に規定する。図 8 ( c ) では、光学特性 ( A ) , ( B ) とともに最大ゲインが  $G_{max}$  になっており、全周波数帯域において  $G_{max}$  以上のゲインが掛からないように規定されている。このような特性を実現するために、式 ( 6 ) の定数 C の代わりに式 ( 7 ) に示される最大ゲインを規定する関数  $F( )$  を追加する。

## 【 0 0 4 8 】

## 【 数 2 】

20

$$M(u, v) = \frac{1}{H(u, v)} \frac{|H(u, v)|^2}{|H(u, v)|^2 + F(\alpha)} \cdot \cdot \cdot (7)$$

## 【 0 0 4 9 】

は、最大ゲインを規定するための変数である。なお、式 ( 7 ) で表した式は、最大ゲインを規定するための一例であり、他の式や手段によって規定してもよい。

## 【 0 0 5 0 】

本実施形態では、最大ゲインを規定した画像回復フィルタを生成することで、ノイズへの影響を制御することが可能になる。すなわち、撮像装置 2 0 0 のノイズ特性があらかじめわかっている場合は、ノイズ特性に応じた値で式 ( 7 ) の  $F(\alpha)$  を決定することで、元の光学特性に依存されない最適な画像回復フィルタを生成することができる。

30

## 【 0 0 5 1 】

ステップ S 1 6 では、画像処理部 2 0 4 が、ステップ S 1 5 で生成された画像回復フィルタを用いて撮影画像の画像回復処理を行う。すなわち、撮影画像に画像回復フィルタをコンボリューション ( 畳み込み ) することで、撮影画像の画像回復処理を行う。

## 【 0 0 5 2 】

ステップ S 1 7 では、ステップ S 1 6 での画像回復処理の結果に基づいて回復画像 ( 出力画像 ) を出力する。

## [ 第 2 実施形態 ]

40

第 1 実施形態では、撮影条件に応じた最大ゲインを規定してフィルタ生成を行うことを説明した。図 8 ( c ) において、光学特性 ( A ) では周波数  $f_b'$  のときに最大ゲインに到達し、光学特性 ( B ) では周波数  $f_a'$  のときに最大ゲインに到達する。撮像素子 2 0 2 に発生するノイズは、ランダムな成分が主体的なため、ナイキスト周波数近傍の周波数が支配的である。第 1 実施形態で説明した手法は全周波数帯域での最大ゲインを管理することは可能だが、ターゲットとなるノイズの特定の周波数に対しては詳細に管理したフィルタの生成を行ったほうがノイズ抑制には効果的である。

## 【 0 0 5 3 】

本実施形態の画像回復処理は、図 6 に示すフローに沿って実行される。本実施形態では、ステップ S 1 5 において、第 1 実施形態よりもターゲットのノイズの周波数に対して詳

50

細に管理して画像回復フィルタを生成する。他のステップは、第1実施形態と同様であるため、その説明は省略する。なお、第1実施形態と同様に、図6のフローチャートは、画像処理部204の指令に基づいて実行される。

【0054】

図9は、周波数ごとの重みづけ・ターゲット周波数の説明図である。図9(a)は、所定の光学特性のMTF特性を示す図である。図9(b)は、図9(a)の特性を最大ゲインGmaxで規定した場合の画像回復フィルタのゲイン特性を示す図である。画像回復フィルタ(A)~(C)は、重みづけする周波数を変更することで生成される。画像回復フィルタ(A)が最も低周波を重視し、画像回復フィルタ(B)が次に低周波を重視し、画像回復フィルタ(C)が最も高周波を重視している。このような画像回復フィルタはあらかじめ設定しておいてもよいし、動的なパラメータにより式(8)を用いて自動で生成できるようにしてもよい。

10

【0055】

【数3】

$$M(u, v) = \frac{1}{H(u, v) |H(u, v)|^2 + F(G_{\max})} |H(u, v)|^2 G(u, v) \quad \cdots (8)$$

【0056】

式(8)は、式(7)の にGmaxを設定し、周波数ごとに重みづけを与える関数G(u, v)が追加されている。なお、上記式でなくても同様のことが実現できるのであれば他の式や方法を用いてもよい。

20

【0057】

図9(c)は、図9(b)の各画像回復フィルタで画像回復処理をした場合のMTF特性の変化を表した図である。元の特性に対し、画像回復フィルタ(A)は最も低周波で持ち上がり、画像回復フィルタ(C)は最も高周波で持ち上がる。

【0058】

ターゲットの周波数F\_targetが決定している場合、関数G(u, v)を変更して生成した画像回復フィルタのゲイン特性から周波数F\_targetにかかるゲインを取得することができる。図9(b)では、画像回復フィルタA, B, Cの周波数F\_targetにかかるゲインはそれぞれ、Ga, Gb, Gcである。このようにあらかじめ撮像素子202のノイズ特性により周波数F\_targetにかかる最大ゲインを規定しておくことで、さらに詳細にノイズ低減を高精度に制御できる画像回復フィルタが生成可能となる。その場合、極端に低域や高域に重みづけするとリングング等の弊害が発生する可能性があるため、関数G(u, v)はあらかじめ最適な範囲のものを規定しておく必要がある。また、ゲイン特性が極端に下がっている(特に1未満)場合には、LPF効果により画像が眠くなってしまうため、周波数F\_targetにかかる最大ゲインとともに最小ゲインも規定しておくことが好ましい。

30

[第3実施形態]

第1, 2実施形態では、取得した光学伝達関数OTFを逆フーリエ変換して画像回復フィルタを生成する方法について説明した。理想的には、第1, 2実施形態のように周波数領域で処理を行うことが好ましいが、逆フーリエ変換を必要とするため、撮像装置200の演算スピードや、製品コストに見合わない場合、逆フーリエ変換処理の実行が難しい場合がある。その場合、あらかじめ外部で逆フーリエ変換を行い、演算した結果の空間フィルタを記憶部208に記憶しておき、撮影条件にあった画像回復フィルタを抽出して、画像回復処理を行うことが考えられる。その場合、ノイズ対策として必要となる空間フィルタも事前にすべて計算する必要があるが、撮影条件と最大ゲインの組合せで必要になるため、記憶部208の記憶量が膨大になってしまう。

40

【0059】

本実施形態では、記憶部208から画像回復フィルタを取得する場合に、記憶部208が保存する容量を最小限に抑えながらノイズ対策も行う。図10を参照して、本実施形態

50

の画像回復処理について説明する。図11は、本実施形態の画像回復処理を示すフローチャートである。図10のフローチャートは、画像処理部204の指令に基づいて実行される。

【0060】

ステップS111、ステップS112はそれぞれ、図6のステップS11、S12と同一のため、説明は省略する。

【0061】

ステップS113では、ステップS112で記憶部208から取得した撮影条件に応じた画像回復フィルタを取得する。第1実施形態では光学伝達関数OTFを取得したが、本実施形態では前述の通り光学伝達関数OTFを逆フーリエ変換した結果の画像回復フィルタ

10

【0062】

ステップS114では、ステップS113で取得した画像回復フィルタでの最大ゲインを記憶部208から取得する。図11を参照して、最大ゲインについて説明する。図11は異なる光学特性(A)、(B)の振幅特性を示す図であり、図11(b)は光学特性(A)、(B)の最大ゲインを示す図である。光学特性(A)では最大ゲインはGa、光学特性(B)では最大ゲインはGbである。光学特性(A)、(B)の画像回復フィルタを外

20

【0063】

ステップS115では、ステップS112で取得した撮影条件とステップS114で取得した最大ゲインから加重加算率を決定する。図12を参照して、加重加算率の決定方法の一例について説明する。図12は所定のISO感度における最大ゲイン情報に対する加重加算率を示す図である。図12では、最大ゲインが最大ゲインaより小さい場合は加重加算率が0%、つまり、画像回復フィルタを用いた補正後の画像がそのまま最終出力となる。一方、最大ゲインが最大ゲインbより大きい場合は加重加算率が80%、つまり、補正前の画像が8割、補正後の画像が2割の割合で加重平均される。こうすることで、簡易的ではあるが、ゲインが高い領域の場合は補正前の元信号を多く使用することによりノイズ悪化を軽減することが可能となる。このテーブルは設定可能なISO感度ごとに持つ必要があるが、代表的な条件の最大ゲインaと最大ゲインa、b間の傾きを所持しておき、残りのISO感度のテーブルは適宜数値演算によって生成してもよい。このように周波数空間上で処理ができない場合に関しては、簡易的にかつ、メモリの消費を最小限に抑えた形で実現することができる。なお、本実施形態もISO感度の例について説明を行ったが

30

40

【0064】

なお、本発明は、以下の処理を実行することによっても実現する。各実施形態の機能を実現するソフトウェア(プログラム)を、ネットワークまたは各種記録媒体を介してシステムあるいは装置に供給し、そのシステムあるいは装置のコンピュータ(またはCPUやMPU等)がプログラムを読み出して実行する処理である。

【0065】

以上、本発明の好ましい実施形態について説明したが、本発明はこれらの実施形態に限定されず、その要旨の範囲内で種々の変形及び変更が可能である。

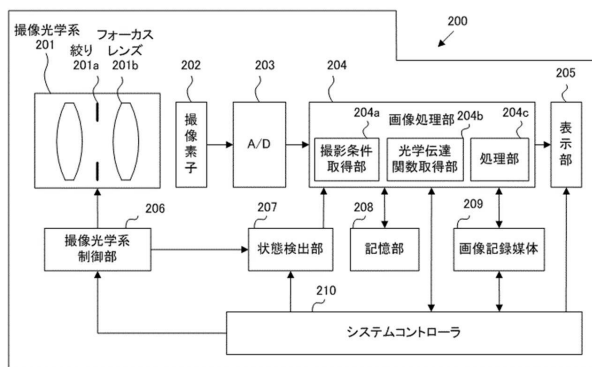
50

## 【符号の説明】

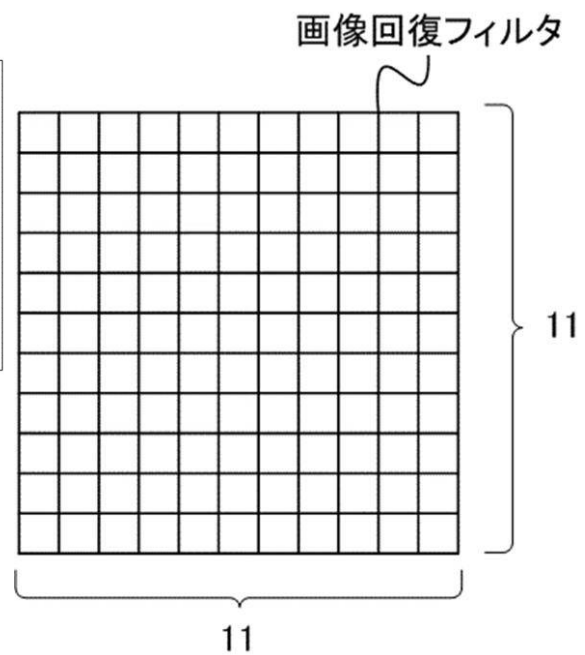
## 【 0 0 6 6 】

- 2 0 4 画像処理部（画像処理装置）  
 2 0 4 a 撮影条件取得部（第 1 の取得手段）  
 2 0 4 b 光学伝達関数取得部（第 2 の取得手段）  
 2 0 4 c 処理部（処理手段）

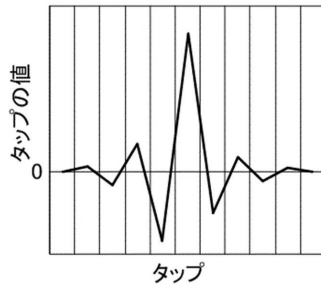
【図 1】



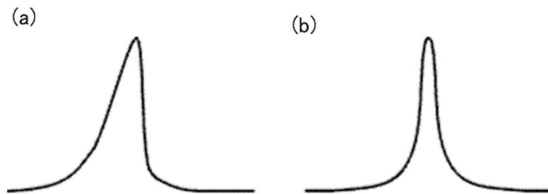
【図 2】



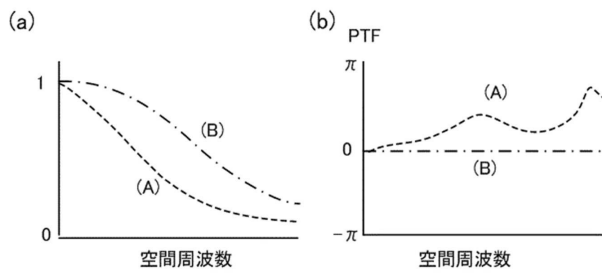
【図 3】



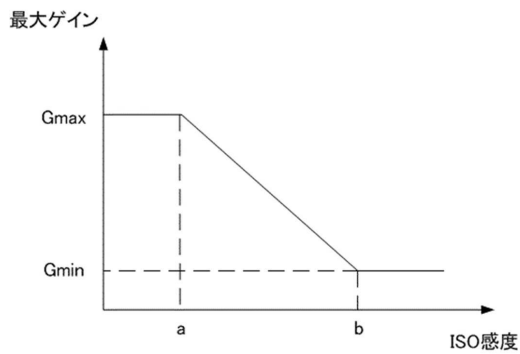
【図 4】



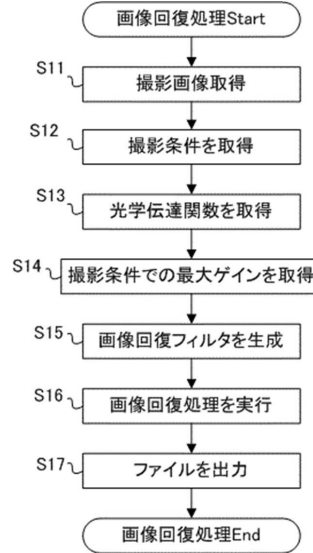
【図 5】



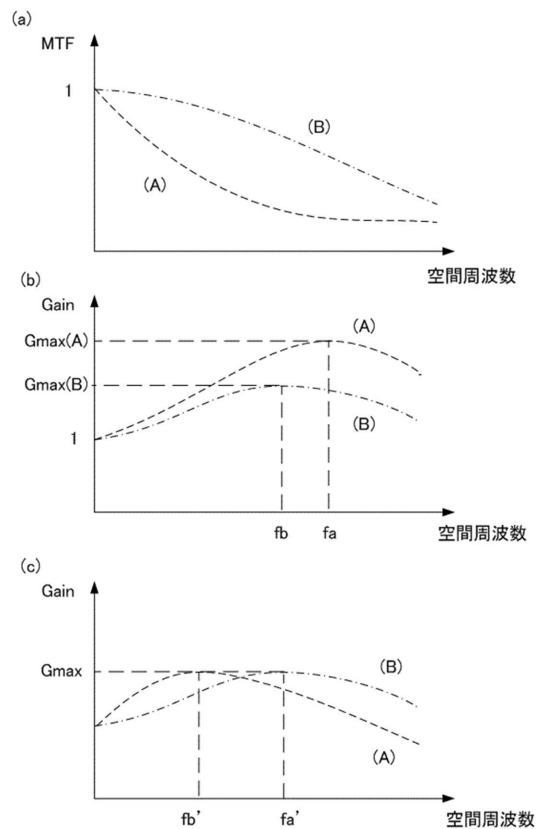
【図 7】



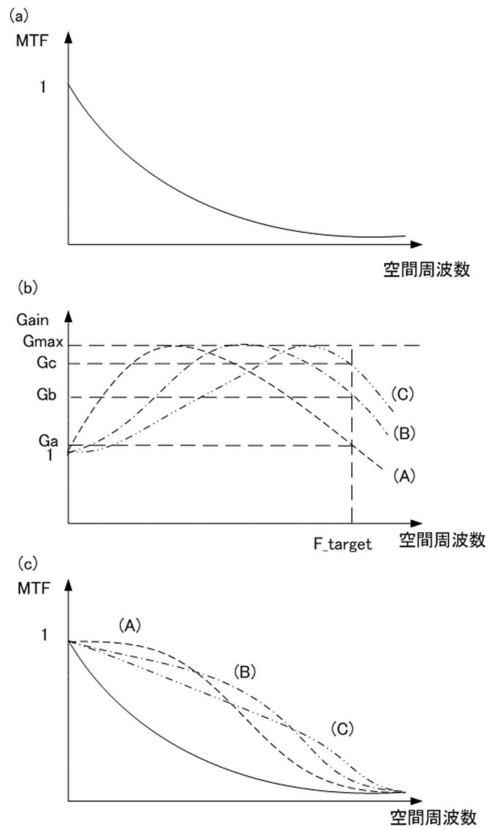
【図 6】



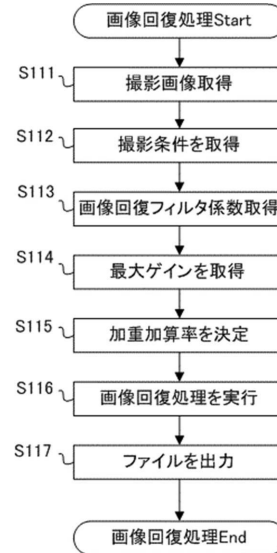
【図 8】



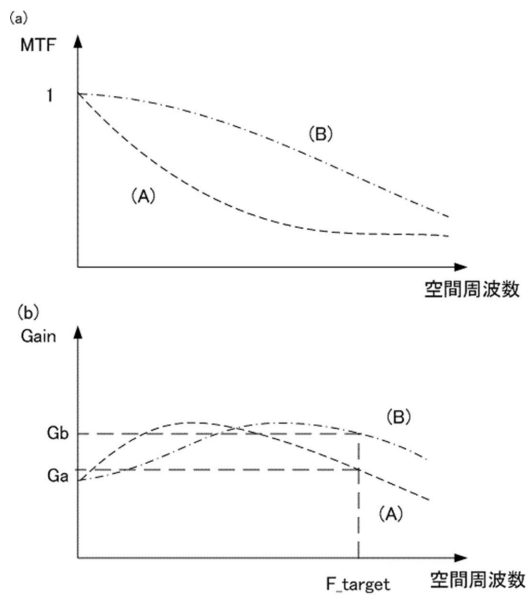
【図 9】



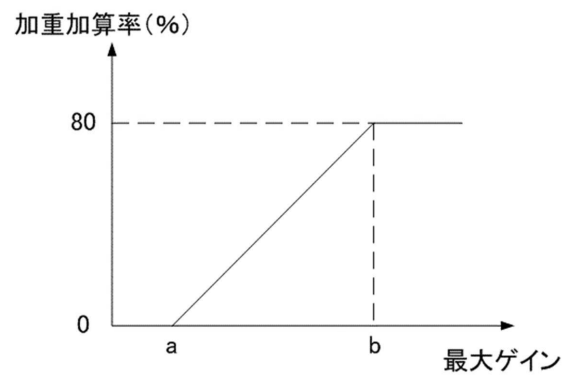
【図 10】



【図 11】



【図 12】



---

フロントページの続き

(56)参考文献 特開 2 0 1 1 - 1 9 3 2 7 6 ( J P , A )  
特開 2 0 1 3 - 0 3 8 5 6 2 ( J P , A )  
特開 2 0 1 0 - 2 5 8 6 2 8 ( J P , A )

(58)調査した分野(Int.Cl. , D B 名)

H 0 4 N	5 / 2 3 2
G 0 6 T	5 / 0 0
H 0 4 N	1 / 4 0