

(19)日本国特許庁(JP)

(12)特許公報(B2)

(11)特許番号

特許第7101539号

(P7101539)

(45)発行日 令和4年7月15日(2022.7.15)

(24)登録日 令和4年7月7日(2022.7.7)

(51)国際特許分類

F I

G 0 6 T 5/00 (2006.01)

G 0 6 T 5/00 7 1 5

G 0 6 T 5/20 (2006.01)

G 0 6 T 5/20

H 0 4 N 1/409(2006.01)

H 0 4 N 1/409

請求項の数 7 (全22頁)

(21)出願番号 特願2018-98058(P2018-98058)
(22)出願日 平成30年5月22日(2018.5.22)
(65)公開番号 特開2019-204225(P2019-204225
A)
(43)公開日 令和1年11月28日(2019.11.28)
審査請求日 令和3年5月12日(2021.5.12)

(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 110003281
特許業務法人大塚国際特許事務所
(72)発明者 加納 明
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 松永 隆志

最終頁に続く

(54)【発明の名称】 画像処理装置、画像処理方法、及びプログラム

(57)【特許請求の範囲】

【請求項1】

撮像光学系の点像強度分布関数に起因する画質劣化を補正する補正処理を入力画像に適用することにより補正画像を生成する画像処理手段を備える画像処理装置であって、前記補正画像に含まれる前記補正処理に由来する補正成分が、前記入力画像に前記点像強度分布関数を適用した場合に前記入力画像に生じる変化に対応する第1の成分に対してローパスフィルタを適用した場合に得られる第2の成分に基づき、

前記補正成分が、前記第1の成分と前記第2の成分とを所定の合成率で合成した場合に得られる第3の成分に基づき、

前記画像処理装置は、前記入力画像の撮像時のISO感度に基づいて、前記ISO感度が第1の値である場合に、前記第1の成分に対する前記第2の成分の比率が、前記ISO感度が前記第1の値より小さい第2の値である場合よりも大きくなるように、前記所定の合成率を決定する決定手段を更に備える

ことを特徴とする画像処理装置。

【請求項2】

前記画像処理手段は、
デルタ関数と前記点像強度分布関数との差に対応する第1の中間フィルタと、前記ローパスフィルタを前記第1の中間フィルタに適用した場合に得られる第2の中間フィルタとを前記所定の合成率で合成した場合に得られる第3の中間フィルタに基づく補正フィルタを生成するフィルタ生成手段と、

前記補正フィルタを前記入力画像に適用するフィルタ適用手段と、
を含む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】

前記画像処理手段は、
デルタ関数と前記点像強度分布関数との差に対応するフィルタを前記入力画像に適用することにより前記第 1 の成分を取得し、
前記ローパスフィルタを前記第 1 の成分に適用することにより前記第 2 の成分を取得し、
前記第 1 の成分と前記第 2 の成分とを前記所定の合成率で合成することにより第 3 の成分を取得し、
前記第 3 の成分、又は前記第 3 の成分に所定の係数を乗じることにより得られる成分を、
前記入力画像に加算する
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 4】

前記ローパスフィルタは、前記点像強度分布関数に基づく
ことを特徴とする請求項 1 乃至 3 のいずれか 1 項に記載の画像処理装置。

【請求項 5】

前記入力画像を生成する撮像手段を更に備える
ことを特徴とする請求項 1 乃至 4 のいずれか 1 項に記載の画像処理装置。

【請求項 6】

画像処理装置が実行する画像処理方法であって、
撮像光学系の点像強度分布関数に起因する画質劣化を補正する補正処理を入力画像に適用することにより補正画像を生成する画像処理工程を備え、
前記補正画像に含まれる前記補正処理に由来する補正成分が、前記入力画像に前記点像強度分布関数を適用した場合に前記入力画像に生じる変化に対応する第 1 の成分に対してローパスフィルタを適用した場合に得られる第 2 の成分に基づき、
前記補正成分が、前記第 1 の成分と前記第 2 の成分とを所定の合成率で合成した場合に得られる第 3 の成分に基づき、
前記画像処理方法は、前記入力画像の撮像時の ISO 感度に基づいて、前記 ISO 感度が第 1 の値である場合に、前記第 1 の成分に対する前記第 2 の成分の比率が、前記 ISO 感度が前記第 1 の値より小さい第 2 の値である場合よりも大きくなるように、前記所定の合成率を決定する決定方法を更に備える
ことを特徴とする画像処理方法。

20

【請求項 7】

コンピュータを、請求項 1 乃至 4 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。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、画像処理装置、画像処理方法、及びプログラムに関する。

【背景技術】

40

【0002】

情報のデジタル化により画像を信号値として扱うことが可能になった。これに伴い、撮影画像に対する様々な補正処理方法が提案されている。デジタルカメラで被写体を撮像した場合、得られた画像は、特に撮像光学系の収差によって画質劣化（画像のぼけ）を伴う。画像のぼけは、光学系の球面収差、コマ収差、像面湾曲、非点収差等が原因である。これらの収差による画像のぼけは、無収差で回折の影響もないと仮定した場合に被写体の一点から出た光束が撮像面上で再度一点に集まるべきものが広がりをもって像を結んでいる状態に相当する。画像のぼけ成分は、光学的には点像強度分布関数（PSF：Point Spread Function）により生じる成分である。

【0003】

50

従来、入力画像をぼかした画像と入力画像との差分を入力画像に加算又は減算することにより入力画像を鮮鋭化するアンシャープマスク処理が知られている。特許文献 1 では、像高方向の画素信号列に対して非対称な 1 次元のフィルタを適用することにより光学系の点像強度分布関数の影響を低減する方法が提案されている。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0004】

【文献】特許第 4 6 1 8 3 5 5 号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

10

【0005】

アンシャープマスクとして回転対称なフィルタを利用する従来のアンシャープマスク処理では、非対称収差やサジタルハ口のような複雑な形状の P S F の影響を受けて劣化した画像を鮮鋭化により補正することは困難である。即ち、収差が大きく発生しているアジムス方向の収差を補正する場合、収差の小さなアジムス方向ではアンダーシュートが発生し、逆にアンダーシュートを抑制すると収差を十分に補正できない。

【0006】

特許文献 1 の方法では、メリジオナル面のアジムス方向である像高方向への非対称性しか考慮しておらず、フィルタは 1 次元であるため、像高方向以外の方向への非対称性を改善することができない。また、フィルタは、マイナスタップ係数の個数で非対称性が調整され、光学系の P S F のぼけ方とは異なるため、十分に画像を鮮鋭化することができない。

20

【0007】

また、回転対称なフィルタを利用する従来のアンシャープマスク処理では、補正の強さを制御することは行われているが、各周波数に対するバランスの制御は考慮されていない。そのため、鮮鋭化の効果を上げるために補正を強めると、特に高周波側でノイズが増幅される。反対に、補正を弱めると、ノイズの問題は緩和されるものの鮮鋭化の効果が低減する。

【0008】

本発明はこのような状況に鑑みてなされたものであり、ノイズの増幅を抑制しつつ、撮像光学系の点像強度分布関数に起因する画質劣化を補正する技術を提供することを目的とする。

30

【課題を解決するための手段】

【0009】

上記課題を解決するために、本発明は、撮像光学系の点像強度分布関数に起因する画質劣化を補正する補正処理を入力画像に適用することにより補正画像を生成する画像処理手段を備える画像処理装置であって、前記補正画像に含まれる前記補正処理に由来する補正成分が、前記入力画像に前記点像強度分布関数を適用した場合に前記入力画像に生じる変化に対応する第 1 の成分に対してローパスフィルタを適用した場合に得られる第 2 の成分に基づき、前記補正成分が、前記第 1 の成分と前記第 2 の成分とを所定の合成率で合成した場合に得られる第 3 の成分に基づき、前記画像処理装置は、前記入力画像の撮像時の I S O 感度に基づいて、前記 I S O 感度が第 1 の値である場合に、前記第 1 の成分に対する前記第 2 の成分の比率が、前記 I S O 感度が前記第 1 の値より小さい第 2 の値である場合よりも大きくなるように、前記所定の合成率を決定する決定手段を更に備えることを特徴とする画像処理装置を提供する。

40

【発明の効果】

【0010】

本発明によれば、ノイズの増幅を抑制しつつ、撮像光学系の点像強度分布関数に起因する画質劣化を補正することが可能となる。

【0011】

なお、本発明のその他の特徴及び利点は、添付図面及び以下の発明を実施するための形態

50

における記載によって更に明らかになるものである。

【図面の簡単な説明】

【 0 0 1 2 】

【図 1】アンシャープマスク処理（画像鮮鋭化処理）による補正の概念図。

【図 2】撮像光学系の P S F の概念図。

【図 3】非対称に劣化した画像に対して回転対称なガウシアンフィルタを用いるアンシャープマスク処理による補正の概念図。

【図 4】非対称に劣化した画像に対して回転非対称な撮像光学系の P S F を適用するアンシャープマスク処理の概念図。

【図 5】式 1 0 の括弧 { } の絶対値を示す図。

10

【図 6】アンシャープマスク処理による補正前後の振幅成分 M T F の変化を示す図。

【図 7】式 7 の $(1 - U(u, v))$ の周波数特性の例を示す図。

【図 8】ローパスフィルタ L P F (x, y) の周波数特性の例を示す図。

【図 9】画像処理装置の一例である撮像装置 1 0 0 の構成を示す図。

【図 1 0】撮像光学系の点像強度分布関数 (P S F) に起因する画質劣化を補正する補正処理のフローチャート。

【図 1 1】ベイヤー配列の模式図。

【図 1 2】ローパスフィルタ取得部 1 1 2 が取得するローパスフィルタ L P F (x, y) の周波数特性の例を示す図。

【図 1 3】異なる撮影条件における撮像光学系の M T F の例を示す図。

20

【図 1 4】(a) P S F (x, y) 及びローパスフィルタ L P F (x, y) の一例として 15×15 タップの 2 次元のフィルタを表す図、(b) 図 1 4 (a) の P S F (x, y) 及び L P F (x, y) の断面図。

【図 1 5】入力画像の模式図。

【図 1 6】図 1 5 の第 1 象限を拡大した図。

【図 1 7】式 1 5 に示す演算方法を実現するための画像処理部 1 0 4 の構成を示す図。

【図 1 8】式 1 5 に示す演算方法による補正処理のフローチャート。

【図 1 9】式 2 7 により生成した補正フィルタのゲインの例を示す図。

【発明を実施するための形態】

【 0 0 1 3 】

30

以下、添付図面を参照して、本発明の実施形態を説明する。添付図面の全体を通じて、同一の参照符号が付与された要素は、同一又は同様の要素を表す。なお、本発明の技術的範囲は、特許請求の範囲によって確定されるのであって、以下の個別の実施形態によって限定されるわけではない。また、実施形態の中で説明されている特徴の組み合わせすべてが、本発明に必須とは限らない。また、別々の実施形態の中で説明されている特徴を適宜組み合わせることも可能である。

【 0 0 1 4 】

[第 1 の実施形態]

最初に、本実施形態の画像補正処理の原理を説明する。図 1 は、アンシャープマスク処理（画像鮮鋭化処理）による補正の概念図である。図 1 において、横軸は座標を示し、縦軸は画素値又は輝度値を示す。図 1 (A) において、実線は入力画像を示し、破線は入力画像をぼかした画像（ボケ画像）を示し、点線は鮮鋭化後の画像を示す。図 1 (B) は、補正成分を表す。

40

【 0 0 1 5 】

入力画像を $f(x, y)$ 、補正成分を $h(x, y)$ とすると、鮮鋭化後の補正画像 $g(x, y)$ は以下の式 1 で表される。

$$g(x, y) = f(x, y) + m \times h(x, y) \cdots (1)$$

ここで、 m は補正の強さを変化させるための調整係数である。調整係数 m を変化させることで補正量を調整することができる。なお、調整係数 m は、入力画像の位置によらない定数であってもよいし、入力画像の位置に応じて変化させてもよい。調整係数 m を入力画像

50

の位置に応じて異ならせることで、入力画像の位置に応じて補正量を調整することができる。また、調整係数 m は、光学系の焦点距離、絞り値、又は被写体距離といった撮影条件に応じて異なる数であってもよい。また、式 1 は第 1 項と第 2 項を加算する形で表されるが、これは調整係数 m が正の場合であり、調整係数 m が負の場合は、式 1 は第 1 項と第 2 項を減算する形で表される。

【 0 0 1 6 】

補正成分 $h(x, y)$ は、アンシャープマスクにおけるボケ画像生成フィルタを $USM(x, y)$ とすると、以下の式 2 で表される。 $USM(x, y)$ は、例えば、座標 (x, y) におけるタップ値である。

$$h(x, y) = f(x, y) - f(x, y) * USM(x, y) \quad \cdots (2)$$

ここで、「 $*$ 」はコンボリューション（畳み込み積分、積和）を意味する。

【 0 0 1 7 】

式 2 の右辺を変形すると、補正成分 $h(x, y)$ は以下の式 3 で表される。

$$h(x, y) = f(x, y) * (\delta(x, y) - USM(x, y)) \quad \cdots (3)$$

ここで、「 δ 」はデルタ関数（理想点像）である。デルタ関数とは、 $USM(x, y)$ とタップ数が等しく、中心の値が 1 でそれ以外が 0 で埋まっているデータである。

【 0 0 1 8 】

以下、補正成分 $h(x, y)$ の生成について説明する。一般的なアンシャープマスク処理では、ボケ画像生成フィルタとしてガウシアンフィルタ、メディアンフィルタ、又は移動平均フィルタ等の平滑化フィルタが使用される。例えば、図 1 (A) の実線で示される入力画像 $f(x, y)$ に対して $USM(x, y)$ としてガウシアンフィルタを適用する場合、入力画像 $f(x, y)$ は図 1 (A) の破線で示されるボケ画像となる。補正成分 $h(x, y)$ は、式 2 に示されるように入力画像 $f(x, y)$ とボケ画像の差分値であり、図 1 (A) の実線から図 1 (A) の破線を減算することで図 1 (B) の実線で表される補正成分 $h(x, y)$ が得られる。入力画像 $f(x, y)$ は、式 1 の演算を行うことで、図 1 (A) の点線で示される鮮鋭化後の補正画像 $g(x, y)$ となる。

【 0 0 1 9 】

以下、被写体の光学像を形成する撮像光学系により劣化した画像に対して、アンシャープマスク処理を行うことで画像を補正する方法について説明する。

【 0 0 2 0 】

撮像光学系を介して取得される入力画像 $f(x, y)$ は、撮影前の元の画像（被写体像）を $I(x, y)$ 、撮像光学系の点光源に対する応答を表す関数である PSF を $psf(x, y)$ とすると、以下の式 4 で表される。

$$f(x, y) = I(x, y) * psf(x, y) \quad \cdots (4)$$

撮像光学系が回転対称な共軸光学系である場合、画像の中心部に対応する PSF は回転対称となる。そのため、画像の中心部に対して回転対称な $USM(x, y)$ を適用することで、入力画像 $f(x, y)$ を元の画像 $I(x, y)$ に近づける鮮鋭化を行うことができる。補正成分 $h(x, y)$ は入力画像 $f(x, y)$ とボケ画像の差分値であるため、 $USM(x, y)$ として単純な平滑化フィルタではなく、 PSF に近い形状のフィルタを使用することで入力画像 $f(x, y)$ を精度良く補正することができる。例えば、球面収差の影響で入力画像が劣化する場合、球面収差は入力画像に回転対称に影響を与えるが、ガウシアンフィルタのような平滑化フィルタは、球面収差の影響による PSF とは分布の形状が異なる。そのため、入力画像が回転対称にぼける影響を低減する場合、 PSF を使用することで入力画像を精度良く補正することができる。

【 0 0 2 1 】

本実施形態では、 $USM(x, y)$ として PSF を用いる。図 1 (A) の実線で示される入力画像 $f(x, y)$ は、簡略化のため対称な形状としているが、非対称な形状であってもよい。元の画像 $I(x, y)$ の形状が非対称であっても $psf(x, y)$ に相当する元の画像 $I(x, y)$ の劣化関数が回転対称であれば、回転対称な $USM(x, y)$ を用いて鮮鋭化を行うことができる。

10

20

30

40

50

【 0 0 2 2 】

画像の中心部以外では、撮像光学系が回転対称な共軸光学系であっても、 PSF は通常非対称な形状となる。図2は、撮像光学系の PSF の概念図である。図2(A)は軸上の PSF を表し、図2(B)は軸外の PSF を表す。例えば、元の画像(被写体像)が理想点像である場合、入力画像 $f(x, y)$ は、式4に示されるように、撮像光学系の PSF になる。図2(B)に対応する画角に理想点像があり、撮像光学系の PSF の影響を受けて元の画像(被写体像)が劣化する場合、入力画像 $f(x, y)$ として得られる画像は、図2(B)に示されるように、ぼけた画像となる。

【 0 0 2 3 】

以下、非対称にぼけた画像に対して、アンシャープマスク処理による補正を行う場合について説明する。図3は、非対称に劣化した画像に対して回転対称なガウシアンフィルタを用いるアンシャープマスク処理による補正の概念図である。図4は、非対称に劣化した画像に対して回転非対称な撮像光学系の PSF を適用するアンシャープマスク処理の概念図である。図1において、横軸は座標を示し、縦軸は画素値又は輝度値を示す。図3(A)及び図4(A)において、実線は入力画像を表し、破線は入力画像をぼかした画像(ボケ画像)を表す。図3(B)及び図4(B)は、入力画像とボケ画像の差分値である補正成分を表す。図3及び図4の横軸では、ボケ画像のうち、よりぼけて裾野が広がっている側を便宜的にプラス側と表現し、その反対側をマイナス側と表現する。

【 0 0 2 4 】

図3(A)では、実線のピーク位置に対してマイナス側の入力画像とボケ画像の差分値が、プラス側の入力画像とボケ画像の差分値より大きい。そのため、図3(B)に示されるように、ピーク位置に対してマイナス側の補正成分の極値は、プラス側の補正成分の極値に比べて小さい。即ち、プラス側の補正成分が小さく、マイナス側の補正成分は大きいため、式1を用いてアンシャープマスク処理を行っても非対称なボケを補正できない。図3(C)は、式1の調整係数 m が1である場合の補正後の画像を表す。補正後の画像は、図3(C)に示されるように、図3(A)の実線で示される入力画像に対して鮮鋭化されているが、マイナス側の領域がプラス側の領域に比べて大きく凹んでおり、非対称なボケは補正されていない。また、入力画像のプラス側の領域を適切に補正するように調整係数 m を設定すると、入力画像のマイナス側の領域は補正過剰(アンダーシュート)になる。入力画像のマイナス側の領域を適切に補正するように調整係数 m を設定すると、入力画像の

【 0 0 2 5 】

以上説明したように、非対称にぼけた入力画像に対して回転対称な $USM(x, y)$ を適用してアンシャープマスク処理を行う場合、入力画像の非対称性を改善することは困難である。このような問題は、ガウシアンフィルタ以外の回転対称なフィルタを使用する場合でも発生する。

【 0 0 2 6 】

図4(A)では、実線のピーク位置に対してプラス側の入力画像とボケ画像の差分値が、マイナス側の入力画像とボケ画像の差分値より大きい。そのため、図4(B)に示されるように、ピーク位置に対してプラス側の補正成分の極値は、マイナス側の補正成分の極値に比べて小さい。即ち、ボケ量が多いプラス側の補正成分は大きく、ボケ量の少ないマイナス側の補正成分は小さくなっている。従って、図4(A)の実線で示される入力画像に対してアンシャープマスク処理を行うと、入力画像のボケのバランスと補正成分の補正量のバランスの傾向が一致するため、補正の過不足も起きにくい。

【 0 0 2 7 】

図4(C)は、式1の調整係数 m が1である場合の補正後の画像を表す。補正後の画像は、図4(C)に示されるように、図4(A)の実線で示される入力画像に対して補正されるとともに、図3(C)の補正後の画像に比べてマイナス側の領域とプラス側の領域の凹みのバランス差が改善されている。また、回転対称な $USM(x, y)$ を適用する場合と比べて、補正過剰になりにくくなるため、調整係数 m の値も比較的大きく変化させること

できる。そのため、補正後の画像は、非対称なボケが低減されるとともにより鮮鋭化される。

【 0 0 2 8 】

また、補正成分の補正量のバランスは入力画像とボケ画像の差分値となるため、より精度良くアンシャープマスク処理を行うためには、撮像光学系の P S F によって大きくぼけた領域が U S M (x , y) によって他の領域に比べてよりぼかされる必要がある。従って、U S M (x , y) として撮像光学系の P S F を利用することで、より精度良くアンシャープマスク処理を行うことができる。

【 0 0 2 9 】

以下、アンシャープマスク処理の周波数特性の制御について説明する。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、式 1 は以下の式 5 で表される。

$$G(u,v)=F(u,v)+m \times H(u,v) \quad \cdots (5)$$

ここで、 $H(u,v)$ は補正成分 $h(x,y)$ のフーリエ変換であり、 $G(u,v)$ 及び $F(u,v)$ はそれぞれ補正後の画像 $g(x,y)$ 及び入力画像 $f(x,y)$ のフーリエ変換である。 (u,v) は 2 次元周波数面での座標、即ち周波数である。

【 0 0 3 0 】

式 2 をフーリエ変換することで、補正成分 $h(x,y)$ のフーリエ変換 $H(u,v)$ は、以下の式 6 で表される。

$$H(u,v)=F(u,v)-F(u,v) \times U(u,v) \quad \cdots (6)$$

ここで、 $U(u,v)$ は、ボケ画像生成フィルタである U S M (x , y) のフーリエ変換である。

【 0 0 3 1 】

また、式 3 をフーリエ変換することで、補正成分 $h(x,y)$ のフーリエ変換 $H(u,v)$ は、以下の式 7 で表される。

$$H(u,v)=F(u,v) \times (1-U(u,v)) \quad \cdots (7)$$

補正後の画像 $g(x,y)$ のフーリエ変換 $G(u,v)$ は、式 5 に式 6 を代入することで、以下の式 8 で表される。

$$G(u,v)=F(u,v)+m \times \{F(u,v)-F(u,v) \times U(u,v)\} \quad \cdots (8)$$

また、補正後の画像 $g(x,y)$ のフーリエ変換 $G(u,v)$ は、式 5 に式 7 を代入することで、以下の式 9 で表される。

$$G(u,v)=F(u,v)+m \times F(u,v) \times \{1-U(u,v)\} \quad \cdots (9)$$

ここで、式 9 は、以下の式のように変形される。

$$G(u,v)=F(u,v) \times \{1+m \times (1-U(u,v))\} \quad \cdots (10)$$

式 8 から式 10 は、処理する順序等が異なるものの、数式の変形により導出できるため、いずれも等価な関係にある。式 10 の括弧 { } の部分は、アンシャープマスク処理前後の周波数特性の変化に対応する。即ち、式 10 の括弧 { } の絶対値は、アンシャープマスク処理で使用するフィルタのゲイン（鮮鋭化度合い）であり、アンシャープマスク処理の周波数空間における補正効果を表す。

【 0 0 3 2 】

図 5 は、式 10 の括弧 { } の絶対値を示す図である。図 5 において、横軸は空間周波数を示し、縦軸はゲインを示す。図 5 では、点線は調整係数 m が 0 . 5 である場合を表し、高周波側ではゲイン G_a が 1 . 5 に漸近する。破線は調整係数 m が 1 . 0 である場合を表し、高周波側ではゲイン G_a が 2 . 0 に漸近する。図 5 の実線については後で説明する。

【 0 0 3 3 】

ボケ画像生成フィルタ U S M (x , y) として撮像光学系の P S F を利用する場合、U S M (x , y) のフーリエ変換 $U(u,v)$ は、P S F のフーリエ変換である光学伝達関数 (O T F : O p t i c a l T r a n s f e r F u n c t i o n) となる。

【 0 0 3 4 】

図 6 は、アンシャープマスク処理による補正前後の振幅成分 M T F の変化を示す図である。図 6 において、一点鎖線は補正前の振幅成分 M T F を表し、点線と破線はそれぞれ図 5

10

20

30

40

50

の点線と破線に対応する補正後の振幅成分 M T F を表す。図 6 の実線については後で説明する。

【 0 0 3 5 】

振幅成分 M T F は、収差による画像劣化の振幅成分の周波数特性であり、図 6 に示されるように、低周波側が高く、高周波側が低くなる。振幅成分 M T F がゼロに近づくと、O T F の実部及び虚部はゼロに近づき、撮像光学系で解像できる周波数を超えると実部及び虚部は 0 となる。このとき、ゲイン G_a は式 10 より $(1 + m)$ となる。そのため、 $U S M(x, y)$ として撮像光学系の P S F を利用した場合でも、ゲイン G_a は図 5 の点線や破線で示される高周波側で増加する曲線となる。なお、軸外の P S F は回転非対称となるため、ゲイン G_a も回転非対称となる。ゲイン G_a は P S F が回転対称の場合はどの方向（断面）でも一定となるが、回転非対称な場合は方向によって異なる。また、所定の周波数でゲイン G_a は $G_a > (1 + m)$ となる場合もある。

10

【 0 0 3 6 】

以上説明したように、ボケ画像生成フィルタ $U S M(x, y)$ としてガウス分布のような回転対称なフィルタを利用する場合であっても、撮像光学系の P S F を利用する場合であっても、基本的にゲイン G_a は低周波側から高周波側にかけて増加する曲線となる。図 5 に示されるように、調整係数 m が異なる場合、高周波側でゲイン G_a に差が生じるものの、補正後の振幅成分 M T F は周波数 f_r において差が最大となる。これは、図 6 の一点鎖線で示される補正前の振幅成分 M T F に図 5 に示されるゲイン G_a が掛け合わされて補正後の振幅成分 M T F となるためである。補正前の振幅成分 M T F が低い場合、ゲイン G_a が大きくても補正による振幅成分 M T F の変化は小さくなる。

20

【 0 0 3 7 】

図 5 の点線と破線を比較すると、破線の方が点線を上回っているため補正効果は大きい。しかし、アンシャープマスク処理を適用する入力画像にはノイズ成分が含まれているため、実際にはノイズ成分の影響を考慮する必要がある。入力画像のノイズ成分を考慮すると、式 10 は、以下の式 11 で表される。

$$G(u, v) = (F(u, v) + N(u, v)) \times \{1 + m \times (1 - U(u, v))\} \quad \cdots (11)$$

ここで、 $N(u, v)$ は、ノイズ成分である。式 11 から理解できるように、ノイズ成分を含む入力画像に対してアンシャープマスク処理を行うと、入力画像 $f(x, y)$ のフーリエ変換 $F(u, v)$ とノイズ成分 $N(u, v)$ の両方に括弧 $\{ \}$ の部分がかかる。また、入力画像 $f(x, y)$ のフーリエ変換 $F(u, v)$ は、式 4 をフーリエ変換することで取得され、撮影前の元の画像 $I(x, y)$ のフーリエ変換と撮像光学系の O T F の積である。振幅成分 M T F がゼロに近づく高周波側では、O T F の実部及び虚部はゼロに近づくため、入力画像 $f(x, y)$ のフーリエ変換 $F(u, v)$ も同様にゼロに近づく。

30

【 0 0 3 8 】

一方、ノイズ成分 $N(u, v)$ は、例えばホワイトノイズのようなノイズ成分であれば、基本的に周波数に依存することなく一様な分布となる。従って、高周波側では、入力画像 $f(x, y)$ のフーリエ変換 $F(u, v)$ に対するノイズ成分 $N(u, v)$ の割合が大きくなる。そのため、ノイズ成分を含む入力画像に対して高周波側に大きなゲインをかけると、補正効果はあまり得られないにも関わらず、ノイズ成分は大きく増幅される。そのため、観賞用画像として良好な画像を得るためには、補正効果よりもノイズ成分の影響が大きい高周波側でのゲインはできる限り小さくする必要がある。

40

【 0 0 3 9 】

そこで、本実施形態では、観賞用画像として良好な画像を得るために、図 5 において実線で示すように、補正効果よりノイズ成分に対する影響が大きい高周波側ではゲイン G_a を小さくし、ノイズ成分の影響が小さい低周波側ではゲイン G_a を大きくする。

【 0 0 4 0 】

ところで、アンシャープマスク処理では、前述したように、調整係数 m を変化させることでゲイン G_a を制御することができる。しかしながら、調整係数 m による補正量の調整では、空間周波数に対して一律に補正量を制御することはできるものの、図 5 の実線のように

50

に低周波側のゲイン G_a を大きく、高周波側のゲイン G_a を小さくすることはできない。
そこで、本実施形態では、以下に説明する方法によりゲイン G_a を制御する。

【0041】

式7において画像のノイズ成分の影響を考慮すると、補正成分は以下の式12で表される。

$$H(u,v)=(F(u,v)+N(u,v)) \times (1-U(u,v)) \cdots (12)$$

ここで、図7は、式12の $(1-U(u,v))$ の周波数特性の例を示す図である。 $(1-U(u,v))$ は、低周波側から高周波側にかけて増加する曲線であり、ハイパスフィルタの特性を示す。式12において、ノイズ成分 $N(u,v)$ に $(1-U(u,v))$ がかかることで、補正成分 $H(u,v)$ は高周波側が増幅されたノイズ成分を含むことになる。この増幅されたノイズ成分を含む補正成分が、アンシャープマスク処理では式1で表したように入力画像に加算されることで、補正後の画像にノイズ増加が発生する。

10

【0042】

本実施形態では、このような補正成分に含まれるノイズ成分を抑制するために、補正成分にローパスフィルタ $LPF(x,y)$ をかける。このときの補正成分 $h(x,y)$ は以下の式13で表される。式13は、式3のローパスフィルタ $LPF(x,y)$ を適用したものに相当する。

$$h(x,y)=f(x,y)*((x,y)-USM(x,y))*LPF(x,y) \cdots (13)$$

ここで、図8は、ローパスフィルタ $LPF(x,y)$ の周波数特性の例を示す図である。このようなローパスフィルタを補正成分に適用することで、補正成分中のノイズ成分を抑制することができる。

20

【0043】

ローパスフィルタ $LPF(x,y)$ のフーリエ変換を $L(u,v)$ とすると、補正後の画像 $g(x,y)$ のフーリエ変換 $G(u,v)$ は、以下の式14で表される。

$$G(u,v)=F(u,v) \times \{1+m \times (1-U(u,v)) \times L(u,v)\} \cdots (14)$$

ここで、式14に基づくアンシャープマスク処理を実行した後の振幅成分 MTF は図6の実線で表され、式14に基づくゲイン G_a は図5の実線で表される。

【0044】

本実施形態では、ローパスフィルタを撮像光学系の特性に基づいて決定することで、補正効果とノイズ抑制のバランスを制御する。例えば、高周波側で MTF がゼロに近い周波数帯域では、ゲインをかけて補正しても補正効果はほとんどなく、ノイズ成分の増幅だけが発生する。従って、その周波数帯域で振幅を下げるローパスフィルタを使用することで、補正効果を維持し、ノイズ成分の増幅を抑制することが可能になる。

30

【0045】

本実施形態におけるアンシャープマスク処理の基本式は、式1と式13から導かれる以下の式15で表される。なお、本実施形態では $USM(x,y)$ として PSF を用いるため、式15以降の式では、 $USM(x,y)$ を $PSF(x,y)$ に置き換えている。

$$g(x,y)=f(x,y)+m \times \{f(x,y)*((x,y)-PSF(x,y))*LPF(x,y)\} \cdots (15)$$

また、式15は、式16又は式17に変形することができる。

$$g(x,y)=f(x,y)+m \times \{f(x,y)*LPF(x,y)-f(x,y)*PSF(x,y)*LPF(x,y)\} \cdots (16)$$

$$g(x,y)=f(x,y)*\{(x,y)+m \times ((x,y)-PSF(x,y))*LPF(x,y)\} \cdots (17)$$

40

なお、 PSF は、光学系を介して形成される像の像高、光学系の焦点距離、 F 値、及び被写体距離を含む撮影条件ごとに異なる。以下では撮影条件として像高を例に説明を行っているが、光学系の焦点距離、 F 値、及び撮影距離に応じて異なる収差情報を取得し、それに基づいてボケ画像生成フィルタを生成してもよい。

【0046】

次に、図9を参照して、第1の実施形態に係る画像処理装置の一例である撮像装置100の構成について説明する。図1において、撮像光学系101は、不図示の被写体を撮像素子102に結像する。撮像光学系101は、絞り101a及びフォーカスレンズ101bを備え、撮像装置100本体と一体的に構成されている。なお、撮像光学系101は、撮像装置100本体に対して着脱可能に構成されてもよい。撮像光学系101には、ローパ

50

スフィルタや赤外線カットフィルタなどの光学素子を挿入してもよい。ローパスフィルタなどのPSFの特性に影響を与える光学素子を用いる場合、挿入した光学素子の影響を考慮してアンシャープマスク処理を行えばより高精度な補正処理が可能である。また、赤外線カットフィルタを用いる場合、分光波長のPSFの積分値であるRGBチャンネル(RGB色成分)の各PSF(特に、RチャンネルのPSF)に影響が生じる。そのため、アンシャープマスク処理を行う際に赤外線カットフィルタの影響を考慮してもよい。

【0047】

撮像素子102は、結像光を電気信号に変換する。A/Dコンバータ103は、撮像素子102が出力した電気信号をデジタル信号に変換し、画像処理部104に入力する。画像処理部104は、点像強度分布関数取得部111、ローパスフィルタ取得部112、補正フィルタ生成部113、フィルタ重畳部114、及び、その他画像処理部115を含む。画像処理部104は、点像強度分布関数取得部111、ローパスフィルタ取得部112、補正フィルタ生成部113、及びフィルタ重畳部114によって画像補正処理を行う。また、その他画像処理部115は、画素補間、ガンマ補正、カラーバランス調整などの所定の画像処理を行い、JPEG等の画像ファイルを生成する。

【0048】

画像処理部104は、状態検知部107から撮像装置100の撮像状態の情報を得る。状態検知部107は、システムコントローラ110から直接状態情報を得ても良い。例えば、撮像光学系に関する撮像状態情報については、状態検知部107は、撮像光学系制御部106から得ることもできる。

【0049】

記憶部108は、画像処理部104で使用するPSF及びローパスフィルタに関する情報を保持する。画像処理部104で処理された出力画像は、画像記録媒体109に所定のフォーマットで保存される。また、表示部105には、画像処理後の画像が表示される。

【0050】

システムコントローラ110は、撮像装置100の全体的な制御を行う。撮像光学系の機械的な駆動については、システムコントローラ110の指示により撮像光学系制御部106が行う。

【0051】

次に、図10を参照して、撮像光学系の点像強度分布関数(PSF)に起因する画質劣化を補正する補正処理について説明する。図10に示すフローチャートの各ステップの処理は、システムコントローラ110の指示に従って画像処理部104により実行される。

【0052】

S201で、画像処理部104は、撮影画像に基づいて補正対象の入力画像を取得する。補正対象の入力画像の色成分データは、例えば、デモザイキング後のGチャンネルの画像データである。但し、補正対象の入力画像の色成分データは、RチャンネルやBチャンネルの画像データや、RGBすべてのチャンネルの画像データ、或いはデモザイキング前の画像データであってもよい。図11は、離散的な規則配列であるベイヤー配列の模式図である。例えば、画像処理部104は、単純にRGBの各チャンネルのデータをそのまま抜き出して、色ごとに入力画像として使用してもよいし、特定のチャンネルのみ入力画像として使用してもよい。また、図11に示されるように、GチャンネルをG1、G2の2つに分け、撮影画像を4チャンネルの色成分データとして取り扱ってもよい。Gチャンネルを2つに分けることで、R、G1、G2、Bのそれぞれを抜き出した画像データは解像度が等しくなるため、処理やデータ加工がしやすくなる。

【0053】

S202で、画像処理部104の点像強度分布関数取得部111は、入力画像の撮影条件に対応する撮像光学系101のPSFを記憶部108から取得する。点像強度分布関数取得部111が取得するPSFは、2次元のタップデータ、PSFの構成要素となる複数の1次元のタップデータ、又は係数であってもよい。2次元のタップデータは、例えば、特異値分解定理などを用いて複数の1次元のタップデータに分解される。記憶部108が分

10

20

30

40

50

解されたデータを記録し、点像強度分布関数取得部 111 が撮影条件に応じて P S F の主成分に対応する複数の 1 次元のタップデータを取得してもよい。なお、記憶部 108 から取得する P S F の情報は、必ずしも精度の高い情報である必要はなく、P S F を近似した情報であっても構わない。

【0054】

S 203 で、ローパスフィルタ取得部 112 は、ローパスフィルタ L P F (x , y) を記憶部 108 から取得する。図 12 に、ローパスフィルタ取得部 112 が取得するローパスフィルタ L P F (x , y) の周波数特性の例を示す。この例では、ローパスフィルタ取得部 112 は、撮像光学系の M T F に応じて図 12 (a)、図 12 (b)、図 12 (c) に示す 3 つのローパスフィルタのうちの 1 つを選択する。図 13 は、異なる撮影条件における撮像光学系の M T F の例を示す図であり、点線の M T F は破線の M T F よりもより低周波側でゼロに近づいている。例えば、点線の M T F の場合、M T F がゼロ付近の周波数帯域におけるノイズ増加を抑えるために、ローパスフィルタ取得部 112 は図 12 (a) のローパスフィルタを選択する。また、図 13 の破線で示した M T F の場合、ローパスフィルタ取得部 112 は図 12 (c) のローパスフィルタを選択する。また、図 13 の点線で示した M T F と破線で示した M T F の間の特性を持つ M T F の場合、ローパスフィルタ取得部 112 は図 12 (b) のローパスフィルタを選択する。入力画像の撮影条件と選択するローパスフィルタの対応関係を示す情報は、記憶部 108 に格納することができる。なお、ローパスフィルタ取得部 112 は、記憶部 108 から取得したローパスフィルタをそのままローパスフィルタ L P F (x , y) として使用してもよいし、取得したローパスフィルタを加工したものをローパスフィルタ L P F (x , y) として使用してもよい。

【0055】

図 14 (a) は、P S F (x , y) 及びローパスフィルタ L P F (x , y) の一例として 15 × 15 タップの 2 次元のフィルタを表している。P S F (x , y) 及び L P F (x , y) のタップ数は、必ずしも等しくなくてもよい。例えば、L P F (x , y) が P S F (x , y) よりも分布の広がり小さい場合、タップ数を減らすことで処理負荷を低減したり、データ量を削減したりすることができる。

【0056】

図 14 (b) は、図 14 (a) の P S F (x , y) 及び L P F (x , y) の断面図である。図 14 (b) において、横軸はタップを示し、縦軸はタップの値を示す。図 14 (b) では、実線が P S F (x , y) の断面、点線が L P F (x , y) の断面を表す。本実施形態では、点像強度分布関数取得部 111 は、記憶部 108 から取得した P S F をそのまま P S F (x , y) として使用してもよいし、取得した P S F を加工したものを P S F (x , y) として使用してもよい。

【0057】

S 204 で、補正フィルタ生成部 113 は、P S F (x , y) 及び L P F (x , y) から補正フィルタを生成する。補正フィルタ C (x , y) は、式 17 の括弧 { } の部分に相当し、以下の式 18 で表される。

$$C(x,y)= (x,y)+m \times ((x,y)-PSF(x,y)) * LPF(x,y) \cdots (18)$$

【0058】

S 205 で、フィルタ重畳部 114 は、補正フィルタ C (x , y) を入力画像に適用する (重畳する) ことにより (即ち、式 17 に示す演算を行うことにより)、補正画像 g (x , y) を生成する。

【0059】

式 18 において、調整係数 m は補正量に影響するパラメータである。調整係数 m を大きくするとアンシャープマスクのゲイン G a は大きくなり、調整係数 m を小さくするとアンシャープマスクのゲイン G a は小さくなる。図 5 の点線や破線で示されるように、調整係数 m を変更すると周波数に対し全体的に補正量が変化する。また、式 18 の補正フィルタ C (x , y) は、L P F (x , y) の適用を含んでおり、図 5 の実線で示されるように、低周波側のゲイン G a を大きく、高周波側のゲイン G a を小さくすることができる。従って

、本実施形態の補正処理では、調整係数 m に基づいてゲイン G_a の全体的な調整を行い、 $L P F(x, y)$ の性質（形状）に基づいてゲイン G_a の高周波側と低周波側のバランスの調整を行うことができる。

【0060】

なお、補正フィルタは、 $P S F(x, y)$ 及び $L P F(x, y)$ に基づいて生成されるが、 $P S F$ は像高によって変化する。そのため、画像処理部 104 は、補正精度を高めるために像高に応じて $P S F(x, y)$ を変化させてもよい。しかしながら、記憶部 108 が像高に対し細かい間隔で対応する $P S F$ を記録する場合、データ容量が増えコストアップとなる。そこで、本実施形態では、像高によって $P S F$ を変化させるために、入力画像を複数の領域に分割し、領域ごとに少なくとも 2 点の像高における $P S F$ の情報を記憶部 108 に記録する。画像処理部 104 は、少なくとも 2 点の像高における $P S F$ に基づく補間処理を行うことで、様々な像高における補正フィルタを生成する。

10

【0061】

以下、補間処理の詳細について説明する。図 15 は、入力画像の模式図である。図 15 において、入力画像の長辺方向を x 軸、短辺方向を y 軸とし、画像の中心を座標の原点とする。本実施形態では、図 15 に示されるように、一例として、入力画像は領域 A から領域 H の 8 つの領域に分割され、画像処理部 104 は、各領域の周辺部、及び原点の $P S F$ の情報を取得する。図 16 は、図 15 の第 1 象限を拡大した図である。図 16 において、 P_0 は原点、 P_1 、 P_2 、 P_3 はそれぞれ領域 A、領域 B、領域 C の周辺像高を表す。 P_n は画像内の任意の点（像高）を表し、図 16 では、点 P_n は原点 P_0 から距離 d_0 、点 P_2 から距離 d_2 で領域 B 内に位置する。点 P_0 、 P_2 に対応する補正フィルタをそれぞれ F_0 、 F_2 とすると、任意の点 P_n に相当する補間データ F_n は、以下の式 19 で表される。

20

$$F_n = F_0 \times (1 - d_0) + F_2 \times d_2 \cdots (19)$$

式 19 に示すような補間処理を行うことで、各領域内の任意の像高における補正フィルタを生成することができる。このように補間処理を行って補正フィルタを生成することで、像高に対して連続的に補正フィルタを変化させることができる。

【0062】

なお、式 19 は第 1 象限の領域 B に関する計算式となっているが、他の領域や他の象限についても同様の演算を行うことで補間処理後のデータを作成することができる。また、像高の補間に使用する計算式は式 19 に限定されず、計算式に 2 次曲線を使用したり、或いは補間前の各補正フィルタに対して所定の定数を掛けることで重み付けしたりしてもよい。

30

【0063】

また、ここでは 2 つのデータから任意の補間データを生成する方法について説明したが、補間に利用するデータ数を増やせば補間データの精度を向上させることができる。例えば、原点 P_0 や点 P_1 、 P_2 、 P_3 に相当する補正フィルタを点 P_n との距離に応じて重み付けして加算することにより、任意の点 P_n に相当する補間データ F_n を生成してもよい。

【0064】

また、調整係数 m を像高に応じて変化させる場合、式 19 の補正フィルタ F_0 、 F_2 の部分に像高に対応する調整係数 m を代入することで補間後の調整係数 m を生成することができる。このように、補間した調整係数 m を補正フィルタに利用することで、像高に対して連続的に補正量を調整することが可能となる。

40

【0065】

また、補正フィルタの補間処理を行う代わりに、補正画像 $g(x, y)$ の補間処理を行ってもよい。この場合、各像高に対応する補正画像 $g(x, y)$ を式 19 の F_0 、 F_2 の部分に代入することで、 $P S F$ の像高方向の変化を考慮した補間後の補正画像を取得することができる。

【0066】

ところで、図 10 では、式 18 に示す補正フィルタ $C(x, y)$ を用いる補正処理、即ち式 17 に示す演算方法による補正処理について説明した。しかしながら、本実施形態の補

50

正処理は、式 17 に示す演算方法によるものに限定されず、例えば式 15 や式 16 に示す演算方法によっても本実施形態の補正処理を実現することが可能である。

【0067】

式 15 において、「 $m \times \{ f(x, y) * ((x, y) - PSF(x, y)) * LPF(x, y) \}$ 」は、補正画像 $g(x, y)$ に含まれる補正処理に由来する補正成分に相当する。補正成分のうち、「 $\{ f(x, y) * ((x, y) - PSF(x, y)) \}$ 」は、入力画像に $PSF(x, y)$ を適用した場合に入力画像に生じる変化に対応する成分（第 1 の成分）に相当する。また、「 $f(x, y) * ((x, y) - PSF(x, y)) * LPF(x, y)$ 」は、この第 1 の成分に対して $LPF(x, y)$ を適用した場合に得られる成分（第 2 の成分）に相当する。従って、式 15 の補正処理は、補正成分が第 2 の成分の m 倍となるような補正処理、即ち、補正成分が第 2 の成分に少なくとも部分的に基づく補正処理であると言える。

10

【0068】

ここで、式 16 及び式 17 は、式 15 を変形することにより得られるため、数学的には式 15 と等価である。従って、式 15 ~ 式 17 のいずれの演算方法により補正処理を行っても、補正画像 $g(x, y)$ に含まれる補正処理に由来する補正成分は、第 2 の成分の m 倍となり、第 2 の成分に少なくとも部分的に基づく。例えば、式 17 の場合、「 $((x, y) - PSF(x, y))$ 」は、デルタ関数と $PSF(x, y)$ との差に対応するフィルタ（第 1 の中間フィルタ）であると言える。また、「 $((x, y) - PSF(x, y)) * LPF(x, y)$ 」は、第 1 の中間フィルタに $LPF(x, y)$ を適用した場合に得られるフィルタ（第 2 の中間フィルタ）であると言える。従って、式 17 の演算方法による補正処理において生成される補正フィルタ $C(x, y)$ （式 18）は、第 2 の中間フィルタに少なくとも部分的に基づくフィルタであると言える。そして、このような補正フィルタ $C(x, y)$ に基づく補正処理を行った場合であっても、結局、補正画像 $g(x, y)$ に含まれる補正処理に由来する補正成分は、第 2 の成分に少なくとも部分的に基づく値になる。

20

【0069】

ここから理解できるように、本実施形態の補正処理は、補正画像 $g(x, y)$ に含まれる補正処理に由来する補正成分が第 2 の成分に少なくとも部分的に基づく限り、任意の演算方法により実現可能である。

30

【0070】

以下、式 15 に示す演算方法による補正処理の具体例について説明する。図 17 は、式 15 に示す演算方法を実現するための画像処理部 104 の構成を示す図である。この例では、図 9 に示す画像処理部 104 が、図 17 に示す画像処理部 104 に置き換えられる。図 17 の画像処理部 104 は、図 9 に示す補正フィルタ生成部 113 の代わりに、画像合成部 116 を含む。

【0071】

図 18 は、式 15 に示す演算方法による補正処理のフローチャートである。本フローチャートの各ステップの処理は、システムコントローラ 110 の指示に従って図 17 の画像処理部 104 により実行される。

40

【0072】

図 18 において、S301 ~ S303 の処理は、図 10 の S201 ~ S203 の処理と同様である。

【0073】

S304 で、フィルタ重畳部 114 は、 PSF に基づいて生成したフィルタ $((x, y) - PSF(x, y))$ を入力画像に重畳し（式 20）、ローパスフィルタ $LPF(x, y)$ を更に重畳する（式 21）。

$$fp(x, y) = f(x, y) * ((x, y) - PSF(x, y)) \cdots (20)$$

$$fpl(x, y) = f(x, y) * ((x, y) - PSF(x, y)) * LPF(x, y) \cdots (21)$$

【0074】

50

S 3 0 5 で、画像合成部 1 1 6 は、式 1 5 と式 2 1 から導かれる以下の式 2 2 の演算を行う。

$$g(x,y)=f(x,y)+m \times fpl(x,y) \quad \cdots (22)$$

式 2 2 に示すように、P S F に基づいて生成したフィルタとローパスフィルタとを入力画像に重畳することにより得られる画像 $fpl(x,y)$ と入力画像 $f(x,y)$ とを合成することで、補正画像の生成が可能である。

【 0 0 7 5 】

また、式 1 6 に示した演算方法による補正処理も可能である。この場合、図 1 8 の S 3 0 4 において、フィルタ重畳部 1 1 4 は、ローパスフィルタ L P F (x , y) を以下の式 2 3 に示したように入力画像に重畳する。

$$fl(x,y)=f(x,y)*LPF(x,y) \quad \cdots (23)$$

【 0 0 7 6 】

また、フィルタ重畳部 1 1 4 は、以下の式 2 4 及び式 2 5 に示したように、P S F に基づいて生成したフィルタ P S F (x , y) とローパスフィルタ L P F (x , y) を重畳する。

$$fp'(x,y)=f(x,y)*PSF(x,y) \quad \cdots (24)$$

$$fpl'(x,y)=fp'(x,y)*LPF(x,y) \quad \cdots (25)$$

【 0 0 7 7 】

次に、S 3 0 5 で、画像合成部 1 1 6 は、式 1 6 、式 2 3 、式 2 5 から導かれる以下の式 2 6 の演算を行う。

$$g(x,y)=f(x,y)+m \times \{fl(x,y)-fpl'(x,y)\} \quad \cdots (26)$$

式 2 6 に示すように、P S F に基づいて生成したフィルタとローパスフィルタとを入力画像に重畳することにより得られる画像 $fpl'(x,y)$ と入力画像 $f(x,y)$ とを合成することで、補正画像の生成が可能である。

【 0 0 7 8 】

以上説明したように、第 1 の実施形態によれば、撮像装置 1 0 0 は、撮像光学系の点像強度分布関数 (P S F) に起因する画質劣化を補正する補正処理を入力画像に適用することにより補正画像を生成する。この補正処理は、補正画像に含まれる補正処理に由来する補正成分が、入力画像に P S F を適用した場合に入力画像に生じる変化に対応する第 1 の成分に対してローパスフィルタを適用した場合に得られる第 2 の成分に少なくとも部分的に基づくように行われる。これにより、ノイズの増幅を抑制しつつ、撮像光学系の P S F に起因する画質劣化を補正することが可能となる。

【 0 0 7 9 】

[第 2 の実施形態]

次に、第 2 の実施形態について説明する。本実施形態における撮像装置 1 0 0 の基本的な構成は、第 1 の実施形態と同様である (図 9 及び図 1 7 参照) 。以下、主に第 1 の実施形態と異なる点について説明する。

【 0 0 8 0 】

本実施形態では、撮像装置 1 0 0 は、ローパスフィルタとして P S F を用いる。前述の通り、P S F をフーリエ変換した O T F の絶対値 M T F は、図 6 に示されるように、低周波側が高く高周波側が低い特性を示す。また、前述の通り、高周波側で M T F がゼロに近い周波数帯域は、ゲインをかけて補正しても補正効果はほとんどなく、ノイズ成分の増幅だけが発生する。第 1 の実施形態では、M T F がゼロに近い周波数帯域におけるノイズ成分の増幅を抑制するため、式 1 5 ~ 式 1 7 に示すようにローパスフィルタの適用を含む補正処理を行った。しかしながら、このローパスフィルタとして、P S F をそのまま使用することが可能である。この場合、式 1 5 ~ 式 1 7 における L P F (x , y) は、P S F (x , y) に置き換えられる。

【 0 0 8 1 】

ローパスフィルタとして P S F を使用することで、M T F が残っている周波数帯域については補正効果を残し、M T F がゼロに近づく M T F が残っていない周波数帯域についてはゲインを抑制することでノイズ増加を抑制することが可能である。

10

20

30

40

50

【 0 0 8 2 】

また、第 1 の実施形態では、補正成分の全体がローパスフィルタの影響を受ける補正処理について説明したが、第 2 の実施形態では、ローパスフィルタの影響を調整可能な構成について説明する。

【 0 0 8 3 】

以下、図 1 0 を参照して、第 2 の実施形態に係る補正処理について説明する。図 1 0 において、S 2 0 1 及び S 2 0 2 の処理は、第 1 の実施形態と同様である。

【 0 0 8 4 】

S 2 0 3 で、ローパスフィルタ取得部 1 1 2 は、ローパスフィルタ $L P F (x , y)$ として、S 2 0 2 で取得した $P S F$ あるいは $P S F$ を近似した情報を同様に取得する。

10

【 0 0 8 5 】

S 2 0 4 で、補正フィルタ生成部 1 1 3 は、 $P S F (x , y)$ から、以下の式 2 7 に示す補正フィルタを生成する。なお、式 2 7 において、 $L P F (x , y)$ の部分は実際には $P S F (x , y)$ が代入されるが、この部分がローパスフィルタ適用の目的を持つことを示すために $L P F (x , y)$ と表記する。

$$C(x,y) = (x,y) + m \times \{ (1-w) \times ((x,y) - PSF(x,y)) + w \times ((x,y) - PSF(x,y)) * LPF(x,y) \} \cdots (27)$$

式 2 7 において、調整係数 w は、ローパスフィルタによる高周波側のゲインの調整強度を制御するための係数である。

【 0 0 8 6 】

20

図 1 9 は、式 2 7 により生成した補正フィルタのゲインの例を示す図である。調整係数 w が 0 の時は、ローパスフィルタの影響を受けない補正フィルタとなり、 w を 1 に近づけていくと高周波側のゲインを抑えた補正フィルタになる。この調整係数 w を、画像のノイズ成分に影響する撮像素子 1 0 2 の $I S O$ 感度に基づいて設定することで、画像のノイズ量に応じて補正フィルタのゲイン特性をコントロールすることが可能である。

【 0 0 8 7 】

式 2 7 の補正フィルタを式 1 7 の括弧 $\{ \}$ の部分に代入することにより、調整係数 w によりローパスフィルタによる高周波側のゲインの調整強度を制御可能な補正処理を実現可能である。この場合、「 $((x,y) - P S F (x , y))$ 」は、デルタ関数と $P S F (x , y)$ との差に対応するフィルタ（第 1 の中間フィルタ）であると言える。また、「 $((x,y) - P S F (x , y)) * L P F (x , y)$ 」は、第 1 の中間フィルタに $L P F (x , y)$ を適用した場合に得られるフィルタ（第 2 の中間フィルタ）であると言える。従って、式 2 7 の補正フィルタ $C (x , y)$ は、第 1 の中間フィルタと第 2 の中間フィルタとを調整係数 w に基づく所定の合成率で合成した場合に得られるフィルタ（第 3 の中間フィルタ）に少なくとも部分的に基づくフィルタであると言える。

30

【 0 0 8 8 】

ところで、第 1 の実施形態では、補正画像に含まれる補正処理に由来する補正成分が、第 1 の成分に対して $L P F$ を適用した場合に得られる第 2 の成分に少なくとも部分的に基づく限り、任意の演算方法により補正処理を実現可能であると説明した。この点は、第 2 の実施形態においても、第 1 の成分と第 2 の成分とが調整係数 w に基づく所定の合成率で合成される点を除き、ほぼ同様である。即ち、第 2 の実施形態では、補正画像に含まれる補正処理に由来する補正成分が、第 1 の成分と第 2 の成分とを所定の合成率で合成した場合に得られる成分（第 3 の成分）に少なくとも部分的に基づく。このことは、式 1 5 に基づく式 2 2 に調整係数 w を適用することにより得られる以下の式 2 8 から確認できる。

40

$$g(x,y) = f(x,y) + m \times \{ (1-w) \times f p (x , y) + w \times f p l (x , y) \} \cdots (28)$$

ここで、 $f p (x , y)$ 、 $f p l (x , y)$ は、それぞれ式 2 0、式 2 1 に示したものである。

【 0 0 8 9 】

同様に、式 1 6 に基づく式 2 6 に対しても、調整係数 w を適用して以下の式 2 9 を得ることができる。

50

$$g(x,y)=f(x,y)+m \times \{(1-w) \times (f(x,y)-fp'(x,y)) \\ +w \times (fl(x,y)-fpl'(x,y))\} \cdots (29)$$

ここで、 $f_l(x,y)$ 、 $f_{p'}(x,y)$ 、 $f_{pl'}(x,y)$ は、それぞれ式23、式24、式25で示したものである。

【0090】

以上説明したように、第2の実施形態によれば、撮像装置100は、撮像光学系の点像強度分布関数(PSF)に起因する画質劣化を補正する補正処理を入力画像に適用することにより補正画像を生成する。この補正処理は、第1の成分と第2の成分とを所定の合成率で合成した場合に得られる第3の成分に少なくとも部分的に基づくように行われる。ここで、第1の成分は、入力画像にPSFを適用した場合に入力画像に生じる変化に対応する成分であり、第2の成分は、第1の成分に対してローパスフィルタを適用した場合に得られる成分である。これにより、ローパスフィルタによる高周波側のゲインの調整強度を制御することが可能になる。

10

【0091】

撮像装置100は、入力画像の撮像時のISO感度に基づいて所定の合成率を決定してもよい。一般的に、ISO感度が大きいほど、ノイズ成分が多くなる。そこで、撮像装置100は、ISO感度が第1の値である場合に、第1の成分に対する第2の成分の比率が、ISO感度が第1の値より小さい第2の値である場合よりも大きくなるように、所定の合成率を決定してもよい。

【0092】

20

なお、上の説明では、ローパスフィルタとしてPSFをそのまま用いるものとした。しかしながら、撮像装置100は、PSFの代わりに、PSFを基に生成したローパスフィルタを使用してもよい。即ち、撮像装置100が使用するローパスフィルタは、PSFに少なくとも部分的に基づくフィルタである。

【0093】

[その他の実施形態]

本発明は、上述の実施形態の1以上の機能を実現するプログラムを、ネットワーク又は記憶媒体を介してシステム又は装置に供給し、そのシステム又は装置のコンピュータにおける1つ以上のプロセッサがプログラムを読み出し実行する処理でも実現可能である。また、1以上の機能を実現する回路(例えば、ASIC)によっても実現可能である。

30

【符号の説明】

【0094】

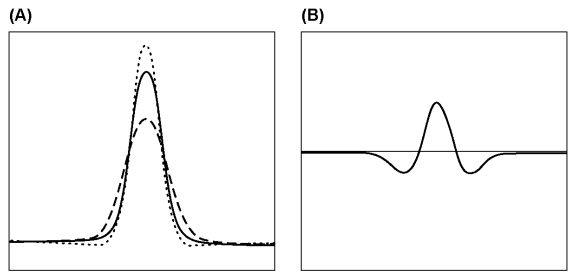
100...撮像装置、101...撮像光学系、102...撮像素子、103...A/Dコンバータ、104...画像処理部、105...表示部、106...撮像光学系制御部、107...状態検知部、108...記憶部、109...画像記録媒体、110...システムコントローラ

40

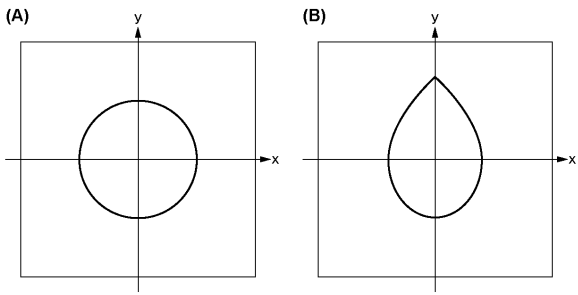
50

【図面】

【図 1】

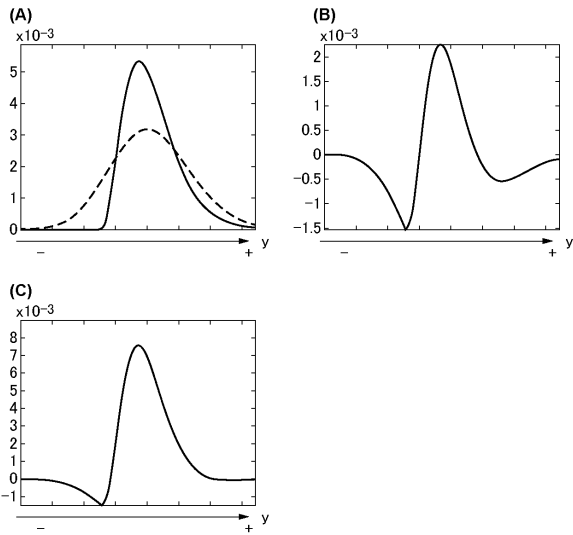


【図 2】

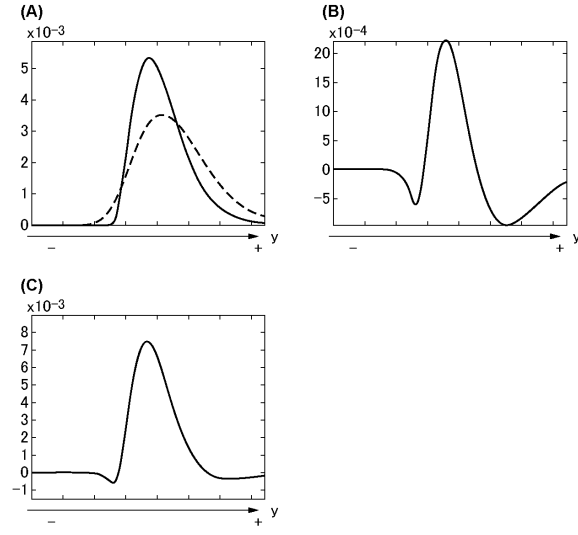


10

【図 3】



【図 4】



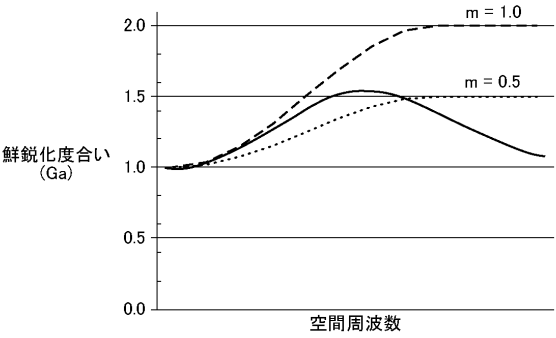
20

30

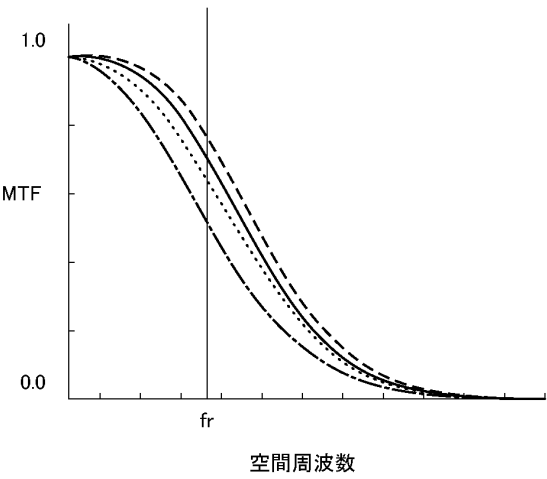
40

50

【図 5】

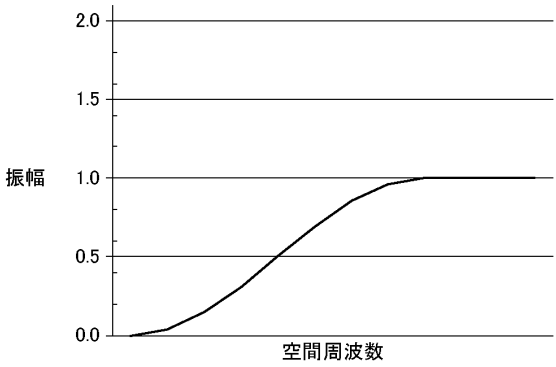


【図 6】

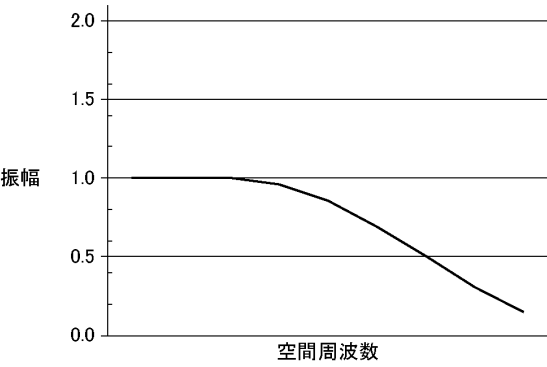


10

【図 7】



【図 8】



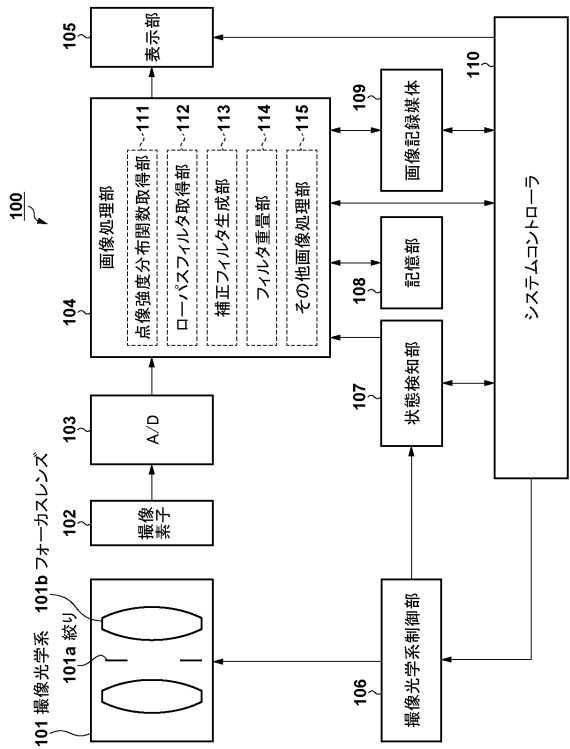
20

30

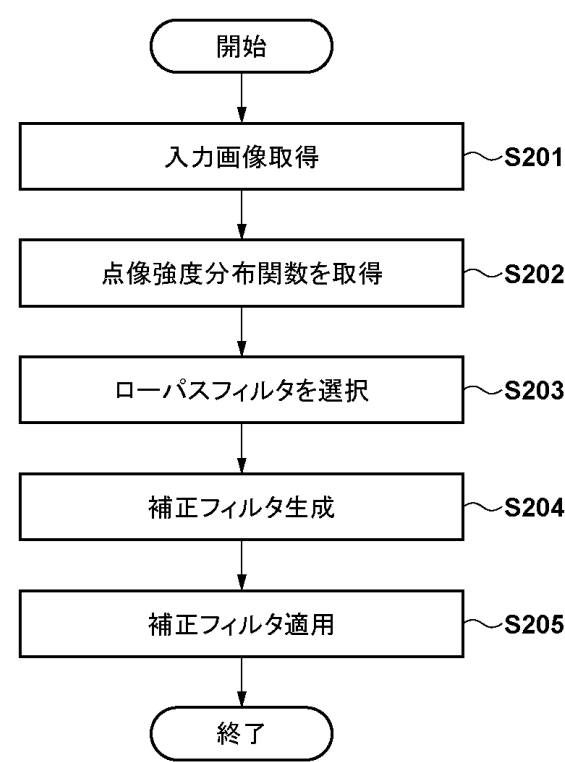
40

50

【図 9】



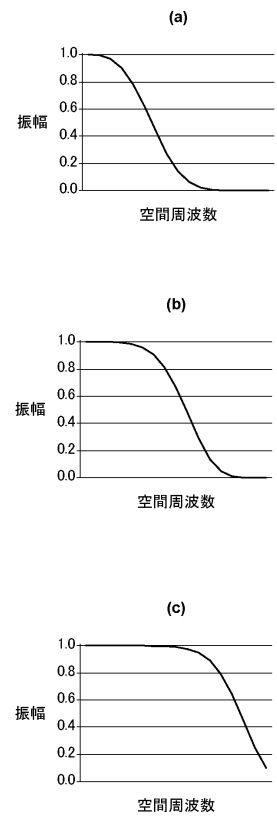
【図 10】



【図 11】

G1	B	G1	B
R	G2	R	G2
G1	B	G1	B
R	G2	R	G2

【図 12】



10

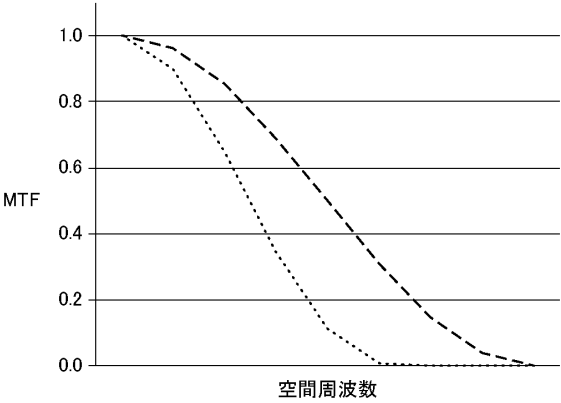
20

30

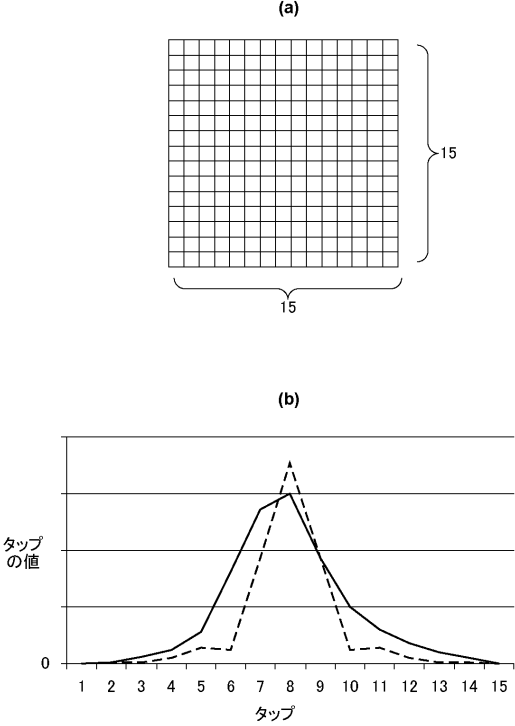
40

50

【図 1 3】



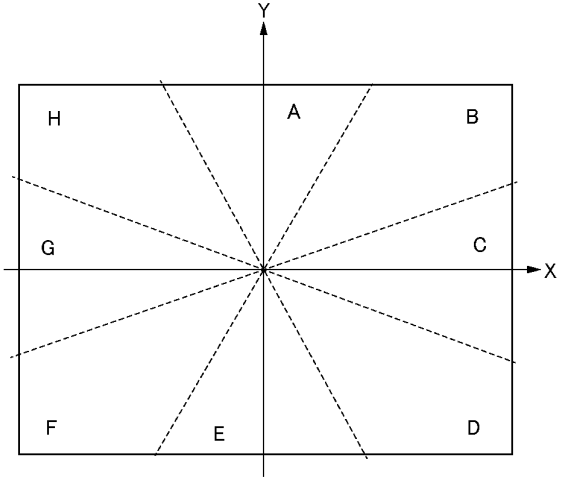
【図 1 4】



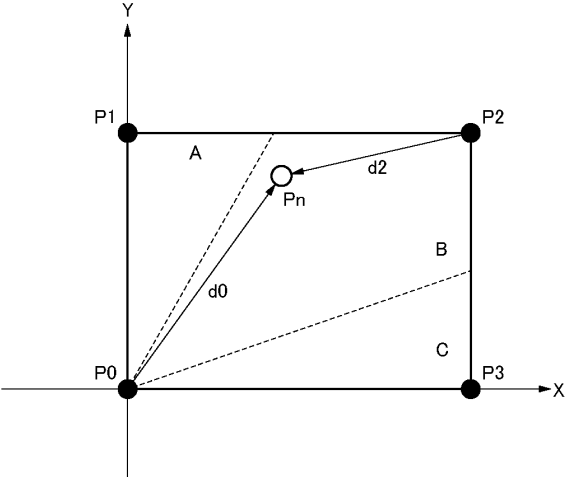
10

20

【図 1 5】



【図 1 6】

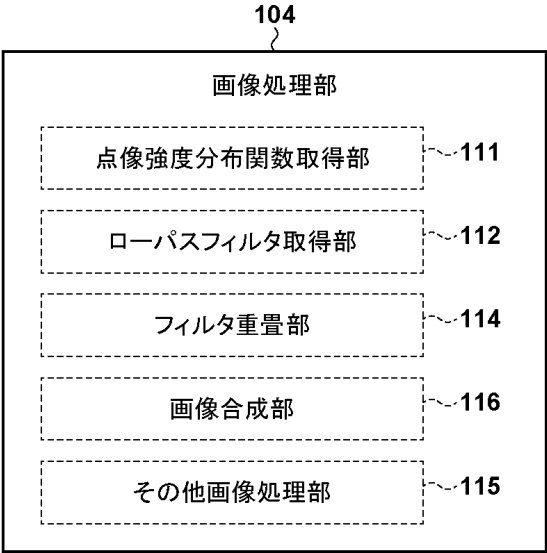


30

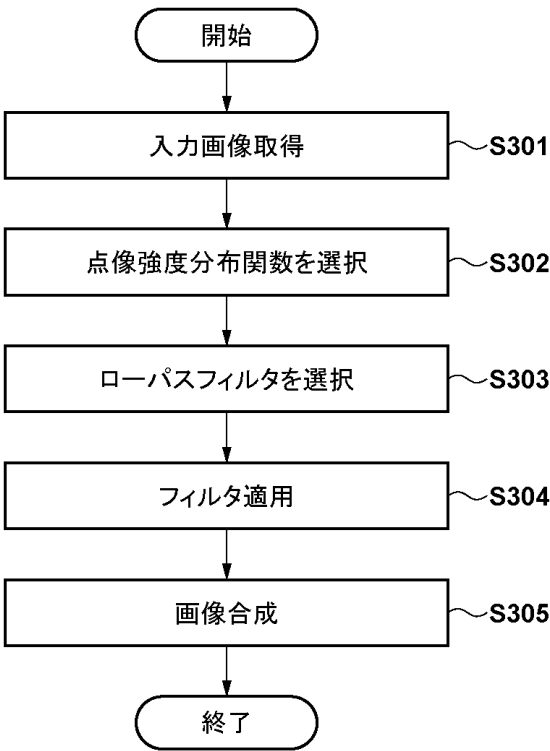
40

50

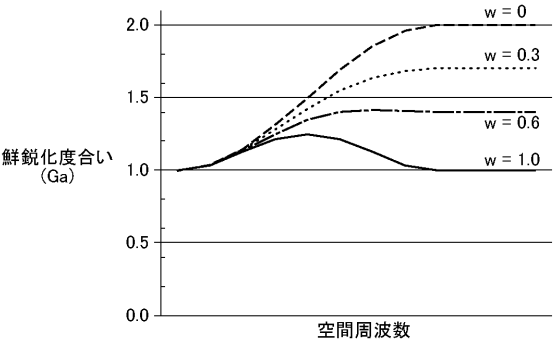
【図 1 7】



【図 1 8】



【図 1 9】



10

20

30

40

50

フロントページの続き

- (56)参考文献 特開 2 0 1 0 - 0 2 8 1 7 8 (J P , A)
 特開 2 0 1 7 - 1 6 3 2 8 2 (J P , A)
 特開 2 0 1 5 - 0 9 7 3 8 0 (J P , A)
 特開平 0 7 - 0 3 8 7 8 0 (J P , A)
 特開 2 0 1 0 - 2 1 9 7 9 7 (J P , A)
- (58)調査した分野 (Int.Cl. , D B 名)
- | | |
|---------|-----------|
| G 0 6 T | 5 / 0 0 |
| G 0 6 T | 5 / 2 0 |
| H 0 4 N | 1 / 4 0 9 |