

(12) 特許協力条約に基づいて公開された国際出願

(19) 世界知的所有権機関
国際事務局

(43) 国際公開日
2015年11月19日(19.11.2015)



(10) 国際公開番号
WO 2015/174257 A1

- (51) 国際特許分類:
H04N 5/232 (2006.01) H04N 1/40 (2006.01)
G06T 5/20 (2006.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2015/062635
- (22) 国際出願日: 2015年4月27日(27.04.2015)
- (25) 国際出願の言語: 日本語
- (26) 国際公開の言語: 日本語
- (30) 優先権データ:
特願 2014-099459 2014年5月13日(13.05.2014) JP
- (71) 出願人: ソニー株式会社(SONY CORPORATION)
[JP/JP]; 〒1080075 東京都港区港南1丁目7番1号 Tokyo (JP).
- (72) 発明者: 尾崎 幹弘(OZAKI Mikihiro); 〒1080075 東京都港区港南1丁目7番1号 ソニー株式会社内 Tokyo (JP). 馬場 茂幸(BABA Shigeyuki); 〒1080075 東京都港区港南1丁目7番1号 ソニー株式会社内 Tokyo (JP). 野村 宜邦(NOMURA Yoshikuni); 〒1080075 東京都港区港南1丁目7番1号 ソニー株式会社内 Tokyo (JP).
- (74) 代理人: 西川 孝, 外(NISHIKAWA Takashi et al.); 〒1600023 東京都新宿区西新宿7丁目5番25号 西新宿木村屋ビルディング9階 Tokyo (JP).
- (81) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の国内保護が可能): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, KE, KG, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.
- (84) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の広域保護が可能): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシア (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), ヨーロッパ (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

[続葉有]

(54) Title: IMAGE-PROCESSING DEVICE, IMAGE-PROCESSING METHOD, IMAGING DEVICE, ELECTRONIC INSTRUMENT, AND PROGRAM

(54) 発明の名称: 画像処理装置、画像処理方法、撮像装置、電子機器、並びにプログラム

(57) Abstract: The disclosed technique relates to an image-processing device, an image-processing method, an imaging device, an electronic instrument, and a program configured to be capable of suitably correcting image blurring. The present invention is provided with an acquiring unit for acquiring blur-correction filters set to a plurality of image heights, and a correcting unit for correcting the pixel value of a pixel at a designated-for-correction image height using a filter acquired by the acquiring unit. The correcting unit causes a filter that is set to an image height near the designated-for-correction image height to be set to a pixel value of a designated-for-correction pixel, calculates a coefficient from the positional relationship of the designated-for-correction image height and the nearby image height, and calculates a corrected pixel value using the post-filtering pixel value and the coefficient. The disclosed technique can be applied in image-processing devices, such as cameras, that process images that have been captured.

(57) 要約:

[続葉有]

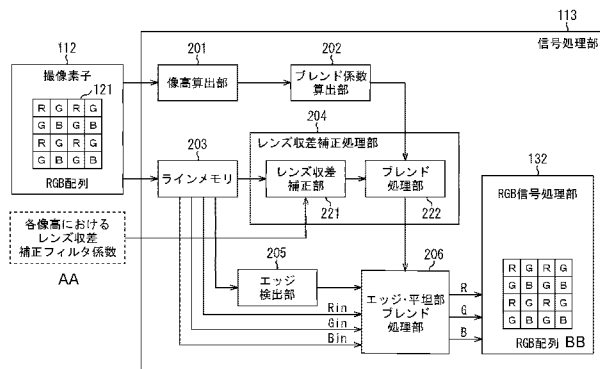


FIG. 2:
 112 Imaging element
 113 Signal-processing unit
 121, BB RGB layout
 132 RGB signal-processing unit
 201 Image height-calculating unit
 202 Blend coefficient-calculating unit
 203 Line memory
 204 Lens aberration correction-processing unit
 205 Edge-detecting unit
 206 Edge/flat part blending unit
 221 Lens aberration-correcting unit
 222 Blending unit
 AA Coefficient of filter for correcting lens aberration in each image height

WO 2015/174257 A1



添付公開書類:

— 国際調査報告 (条約第 21 条(3))

本技術は、画像ぼけを適切に補正することができるようにする画像処理装置、画像処理方法、撮像装置、電子機器、並びにプログラムに関する。複数の像高にそれぞれ設定されているぼけ補正を行うフィルタを取得する取得部と、取得部により取得されたフィルタを用いて、補正対象とされた像高における画素の画素値を補正する補正部とを備える。補正部は、補正対象とされた像高に隣接する像高に設定されているフィルタを、補正対象とされた画素の画素値に適用し、補正対象とされた像高と隣接する像高との位置関係から係数を算出し、フィルタ適用後の画素値と係数を用いて補正後の画素値を算出する。本技術は、撮影された画像を処理する画像処理装置、例えば、カメラに適用できる。

明 細 書

発明の名称：

画像処理装置、画像処理方法、撮像装置、電子機器、並びにプログラム 技術分野

[0001] 本技術は、画像処理装置、画像処理方法、撮像装置、電子機器、並びにプログラムに関する。詳しくは、画像のぼけ補正を行う画像処理装置、画像処理方法、撮像装置、電子機器、並びにプログラムに関する。

背景技術

[0002] デジタルカメラ等の撮像装置において撮影される画像には、ぼけが発生する可能性がある。特に、安価なレンズを用いたカメラでは、像高（光学中心からの距離）が大きくなるほど、レンズの収差に起因した画像のぼけが大きくなる。

[0003] このような様々な要因に基づく画像のノイズやぼけの補正処理について開示した従来技術として、例えば、特許文献1乃至3がある。特許文献1は、撮影画像の領域単位で異なる先鋭化パラメータを用いた補正処理構成を開示している。具体的には、像高（光学中心からの距離）が大きくなるほど、先鋭化パラメータを強くして画像補正を行う構成である。

[0004] しかしながら、この特許文献1の処理は、像高に応じて高周波成分の強度を強める処理を施すのみであり、例えばぼけの周波数特性の変化等については考慮しておらず、適切な補正が実行されない可能性がある。

[0005] また、特許文献2は、レンズの固体差や製造誤差によって変化するぼけに対応するため、それぞれのレンズ特性に応じたフィルタを選択してぼけ補正処理を実行する構成を開示している。しかしながら、上述の像高依存型のぼけのように像高に応じてぼけ方が連続的に変化するぼけに対して、この補正処理を適用しようとする、ぼけ補正用のフィルタの種類が膨大な数になる可能性がある。

[0006] さらに、特許文献3は、像高によって偏りの発生するぼけ方を示すいわゆ

る片ぼけに対して、像高毎に重心位置をずらしたフィルタを適用することで、像高に応じた適切な補正を実行する構成を開示している。具体的には、フィルタの重心位置の補正によって片ぼけに対応した補正を行うものである。しかし、重心位置の補正に主眼をおいており、補正強度の制御については示されておらず、ぼけの強い部分や弱い部分に対応した個別の処理が実行されず、適切な補正がなされない場合が発生する。

先行技術文献

特許文献

- [0007] 特許文献1：特開2006-246080号公報
特許文献2：特開2009-159603号公報
特許文献3：特開2010-081263号公報

発明の概要

発明が解決しようとする課題

- [0008] 従来のぼけ補正は、上記したようなことの他に、例えば、畳み込み演算によるフィルタリングに基づく画素値補正を行うものであるが、様々な補正を行うために、このフィルタリングを行うためのフィルタを多数、格納するため容量の大きなメモリを必要とするなど、小型かつ低コストの実現の妨げとなる可能性があった。
- [0009] 本技術は、このような状況に鑑みてなされたものであり、像高に応じた適切な補正を行うことができるようにするものである。

課題を解決するための手段

- [0010] 本技術の一側面の画像処理装置は、複数の像高にそれぞれ設定されているぼけ補正を行うフィルタを取得する取得部と、前記取得部により取得された前記フィルタを用いて、補正対象とされた像高における画素の画素値を補正する補正部とを備える。
- [0011] 前記補正部は、前記補正対象とされた像高に隣接する像高に設定されている前記フィルタを、前記補正対象とされた画素の画素値に適用し、前記補正

対象とされた像高と前記隣接する像高との位置関係から係数を算出し、前記フィルタ適用後の画素値と前記係数を用いて補正後の画素値を算出することができる。

[0012] 前記補正部は、前記補正対象とされた像高と前記隣接する像高との位置関係から係数を算出し、前記補正対象とされた像高に隣接する像高に設定されている前記フィルタと前記係数を用いて、前記補正対象とされた画素の画素値に適用するフィルタを生成し、生成された前記フィルタと前記補正対象とされた画素の画素値を用いて補正後の画素値を算出することができる。

[0013] 前記フィルタの係数は、前記第1の像高上の複数の像点から、P S F (Point Spread Function) データが算出され、前記P S F データが平均化され、前記平均化された前記P S F データが用いられて、所定の関数で近似され、前記近似された前記P S F データから算出された係数であるようにすることができる。

[0014] 前記フィルタの係数の算出は、ウィナーフィルタを用いるようにすることができる。

[0015] 前記フィルタが設定されている像高は、前記P S Fの形状が大きく変化するところの像高であるようにすることができる。

[0016] 前記フィルタの係数は、前記第1の像高上の複数の像点から、M T F (Modulation Transfer Function) データが算出され、前記M T F データが平均化され、前記平均化された前記M T F データが用いられて、所定の関数で近似され、前記近似された前記M T F データから算出された係数であるようにすることができる。

[0017] 前記フィルタの係数の算出は、ウィナーフィルタを用いるようにすることができる。

[0018] 前記フィルタが設定されている像高は、前記M T F データの変曲点であるようにすることができる。

[0019] 本技術の一側面の画像処理方法は、複数の像高にそれぞれ設定されている

ぼけ補正を行うフィルタを取得し、取得された前記フィルタを用いて、補正対象とされた像高における画素の画素値を補正するステップを含む。

[0020] 本技術の一側面のプログラムは、複数の像高にそれぞれ設定されているぼけ補正を行うフィルタを取得し、取得された前記フィルタを用いて、補正対象とされた像高における画素の画素値を補正するステップを含む処理を実行させる。

[0021] 本技術の一側面の撮像装置は、撮像素子と、複数の像高にそれぞれ設定されているぼけ補正を行うフィルタを取得する取得部と、前記取得部により取得された前記フィルタを用いて、前記撮像素子で撮像された画素のうち、補正対象とされた像高における画素の画素値を補正する補正部とを備える。

[0022] 本技術の一側面の電子機器は、複数の像高にそれぞれ設定されているぼけ補正を行うフィルタを取得する取得部と、前記取得部により取得された前記フィルタを用いて、補正対象とされた像高における画素の画素値を補正する補正部と、前記補正部からの補正後の画素値に対して、所定の画像処理を施す画像処理部とを備える。

[0023] 本技術の一側面の画像処理装置、画像処理方法、並びにプログラムにおいては、複数の像高にそれぞれ設定されているぼけ補正を行うフィルタが取得され、取得されたフィルタが用いられて、補正対象とされた像高における画素の画素値が補正される。

[0024] 本技術の一側面の撮影装置においては、前記画像処理装置が含まれ、画像を撮像するための撮像素子が備えられる。

[0025] 本技術の一側面の電子機器においては、前記画像処理装置が含まれ、前記画像処理装置で処理された信号をさらに処理する処理部が備えられる。

発明の効果

[0026] 本技術の一側面によれば、像高に応じた適切な補正を行うことができるようになる。

[0027] なお、ここに記載された効果は必ずしも限定されるものではなく、本開示中に記載されたいずれかの効果であってもよい。

図面の簡単な説明

- [0028] [図1]本技術を適用した画像処理装置の一実施の形態の構成を示す図である。
- [図2]信号処理部の構成を示す図である。
- [図3]レンズ収差補正フィルタ係数の一例を示す図である。
- [図4]レンズ収差補正フィルタ係数の一例を示す図である。
- [図5]レンズ収差補正フィルタ係数の一例を示す図である。
- [図6]レンズPSFデータについて説明するための図である。
- [図7]コマ収差について説明するための図である。
- [図8]レンズ収差補正フィルタ係数の求め方について説明するための図である。
- 。
- [図9]レンズ収差補正フィルタ係数の求め方について説明するための図である。
- 。
- [図10]係数を算出する像高の選択について説明するための図である。
- [図11]係数が算出された像高の位置について説明するための図である。
- [図12]ブレンド係数について説明するための図である。
- [図13]記録媒体について説明するための図である。

発明を実施するための形態

[0029] 以下に、本技術を実施するための形態（以下、実施の形態という）について説明する。なお、説明は、以下の順序で行う。

1. 画像処理装置の構成
2. 信号処理部の構成
3. レンズ収差補正フィルタ係数について
4. 第1のレンズ収差補正フィルタ係数の求め方
5. 第2のレンズ収差補正フィルタ係数の求め方
6. レンズ収差補正フィルタ係数を算出する像高について
7. レンズ収差補正フィルタ係数の補間について
8. 記録媒体について

[0030] <画像処理装置の構成>

以下に説明する本技術は、撮影画像に発生するぼけを補正する装置に適用できる。まず、撮影画像に発生するぼけの特性について説明する。

[0031] デジタルカメラ等の撮像装置によって撮影された画像には、レンズ特性やCCD、CMOS等の撮像素子の特性に応じたぼけが発生する。特に、安価なレンズを用いたカメラでは、像高（光学中心からの距離）が大きくなるほど、レンズの収差に起因した画像のぼけが大きくなる。

[0032] 一般的に像高に応じて発生するぼけのうち、画像の中心領域は、ぼけが小さい。すなわち、光学中心に近い（像高が小さい）ほど、ぼけが小さい。一方、光学中心からの距離が大きくなるほど、すなわち像高が大きくなるほど、ぼけが大きくなる。

[0033] このように、カメラによる撮影画像に発生するぼけは、カメラのレンズの光学中心に近い画像領域の中心部ほど小さく、レンズの光学中心から遠い画像の周辺領域ほど大きくなる傾向がある。このようなぼけを補正することができる本技術を適用した撮像装置について説明を加える。

[0034] <信号処理部の構成>

図1は、本技術を適用した撮像装置の一実施の形態の構成を示す図である。撮像装置100は、光学レンズ111、撮像素子（イメージセンサ）112、信号処理部113、制御部114、メモリ115を有する。なお、撮像装置は画像処理装置の一態様である。

[0035] なお、本開示の画像処理装置には、例えばパーソナルコンピュータ（PC）などの装置も含まれる。PC等の画像処理装置は、図1に示す撮像装置100の光学レンズ111、撮像素子112を持たず、その他の構成要素から構成され、撮像装置100の取得データの入力部、または記憶部を持つ構成となる。

[0036] 以下では、図1に示す撮像装置100を本開示の画像処理装置の代表例として説明する。なお、図1に示す撮像装置100は、例えばスチルカメラ、ビデオカメラなどである。

[0037] 図1に示す撮像装置100の撮像素子112は、RGB配列からなるベイ

ヤ配列を持つカラーフィルタを備えた構成である。ここでは、RGB配列からなる撮像素子112を利用した構成と処理について説明するが、本技術は、RGB配列以外の例えばRGBW配列を持つ撮像素子を利用した構成に対しても適用できる。また例えば、Y（イエロー）、C（シアン）、M（マゼンタ）等の配列を持つ撮像素子を利用した構成に対しても適用できる。ここで例示した配列以外の他の色配列に対しても本技術は適用できる。

[0038] 図1に示す撮像装置100の撮像素子112は、RGB配列121を持つ。すなわち、

赤色近傍の波長を透過する赤（R）、
緑色近傍の波長を透過する緑（G）、
青色近傍の波長を透過する青（B）、
これら3種類の分光特性を持つフィルタを備えた撮像素子である。

[0039] このRGB配列121を持つ撮像素子112は、光学レンズ111を介してRGBいずれかの光を各画素単位で受光し、光電変換により受光信号強度に対応する電気信号を生成して出力する。この撮像素子112によってRGB3種類の分光から成るモザイク画像が得られる。

[0040] 撮像素子112の出力信号は、信号処理部113の画像信号補正部131に入力される。

[0041] 画像信号補正部131は、例えば像高（光学中心からの距離）やフォーカス位置に応じて変化するぼけ方を考慮したぼけ補正処理を実行する。この画像信号補正部131の構成については、図2を参照して後述する。

[0042] 画像信号補正部131においてぼけ補正のなされたモザイク画像は、RGB信号処理部132に出力される。画像信号補正部131の出力は、撮像素子112からの出力と同様、ベイア配列を持つデータである。

[0043] RGB信号処理部132は、デモザイク処理、ホワイトバランス調整処理、 γ 補正処理などを実行してカラー画像116を生成する。生成したカラー画像116はメモリ115に記録される。

[0044] 制御部114は、これら一連の処理の制御を実行する。例えば、一連の処

理を実行させるプログラムがメモリ 115 に格納されており、制御部 114 は、メモリ 115 から読み出したプログラムを実行して一連の処理を制御する。なお、メモリ 115 は、例えば磁気ディスク、光ディスク、フラッシュメモリ等の各種記録媒体によって構成可能である。

[0045] 画像信号補正部 131 の詳細構成について図 2 を参照して説明する。画像信号補正部 131 は、図 2 に示すように、像高算出部 201、ブレンド係数算出部 202、ラインメモリ 203、レンズ収差補正処理部 204、エッジ検出部 205、およびエッジ・平坦部ブレンド処理部 206 を有する。またレンズ収差補正処理部 204 は、レンズ収差補正部 221 とブレンド処理部 222 を備える。

[0046] 撮像素子 112 から出力された各画素対応の画素値信号は一旦、ラインメモリ 203 に蓄えられる。また、各画素の画素値に対応付けられた各画素の座標位置を示す x y アドレスが像高算出部 201 に出力される。

[0047] ラインメモリ 203 は、撮像素子 112 の、例えば、水平 7 ライン分のラインメモリを有する。ラインメモリ 203 からは、7 つの水平ライン分のデータを並列に順次出力する。出力先は、レンズ収差補正部 221、エッジ検出部 205、エッジ・平坦部ブレンド処理部 206 である。これらの各処理部に対して、RGB 配列 121 の撮像データが 7 ライン単位で出力される。

[0048] なお、ここでは、7 ライン単位で出力されるとして説明を続けるが、後述するフィルタが、7×7 画素に対するフィルタを例に挙げて説明するためであり、このフィルタが 7×7 画素以外に対するフィルタであれば、そのフィルタに対応するライン数が設定され、ラインメモリ 203 は、設定されているライン数分の画素値を蓄積し、出力する。

[0049] エッジ検出部 205 は、ラインメモリ 203 からの出力信号を検証して、画像に含まれるエッジ情報、例えばエッジ方向とエッジ強度を含むエッジ情報を生成してエッジ・平坦部ブレンド処理部 206 に出力する。具体的には、例えば、処理対象画素（7×7 画素の中心画素）を中心として 7×7 画素の画素情報から算出される平坦度（weight Flat）を算出してエッ

ジ・平坦部ブレンド処理部206に出力する。なお、この平坦度 ($w e i g h t F l a t$) 算出処理は、本出願人の先の出願である特開2011-55038号公報に記載の処理と同様の処理として実行可能である。

[0050] レンズ収差補正処理部204は、ラインメモリ203からの入力信号 ($R i n, G i n, B i n$) を検証して、画像ぼけを補正する処理を行い、その処理結果として得られるぼけ補正信号 ($R d, G d, B d$) を算出してエッジ・平坦部ブレンド処理部206に出力する。

[0051] レンズ収差補正処理部204は、画像ぼけ、特に本実施の形態においては、像高に依存する画像ぼけを補正する。レンズ収差補正処理部204のレンズ収差補正部221は、各像高におけるレンズ収差補正フィルタ係数が取得する。このレンズ収差補正フィルタ係数に関しては、後述するが、像高毎に異なるレンズ収差を補正するために、例えば、ウィナーフィルタを用いて算出された係数である。

[0052] レンズ収差補正部221による補正結果は、ブレンド処理部222に供給される。ブレンド処理部222には、ブレンド係数算出部202からの係数 α も供給される。ブレンド処理部222は、ブレンド係数算出部202からの係数 α に基づき、レンズ収差補正フィルタ係数が設定されていない像高におけるレンズ収差補正後のぼけ補正信号 ($R d, G d, B d$) を生成し、エッジ・平坦部ブレンド処理部206に供給する。

[0053] エッジ・平坦部ブレンド処理部206は、ラインメモリ203からの出力信号中のRGB信号 ($R i n, G i n, B i n$)、エッジ検出部205から出力されるエッジ情報、およびレンズ収差補正処理部204から出力されるぼけ補正信号 ($R d, G d, B d$) を入力する。エッジ・平坦部ブレンド処理部206は、これらの情報を利用して、エッジを考慮したぼけ補正のなされた出力信号RGBを生成してRGB信号処理部132に出力する。

[0054] エッジ・平坦部ブレンド処理部206は、エッジ検出部205で算出された処理対象画素のエッジ情報、すなわち、処理対象画素 (7×7 画素の中心画素) を中心として 7×7 画素の画素情報から算出される平坦度 ($w e i g$

htFlat) に応じて、レンズ収差補正処理部 204 から出力されるぼけ補正信号 (Rd, Gd, Bd) の加重平均処理を実行して、RGB 配列 121 の RGB 各画素値を算出する。具体的には、以下の式に従って RGB 画素値を決定する。

$$[0055] \quad R = (\text{weightFlat}) \times (Rd) + (1 - \text{weightFlat}) \times Rin$$

$$G = (\text{weightFlat}) \times (Gd) + (1 - \text{weightFlat}) \times Gin$$

$$B = (\text{weightFlat}) \times (Bd) + (1 - \text{weightFlat}) \times Bin$$

[0056] この式の算出結果として得られる R、G、B を RGB 信号処理部 132 に出力する。RGB 信号処理部 132 は、RGB 配列 (ベイヤ配列) 信号に対する信号処理として、エッジ・平坦部ブレンド処理部 206 から出力される RGB 配列 (ベイヤ配列) 信号に対する信号処理を実行してカラー画像 116 (図 1) を生成する。RGB 信号処理部 132 は、例えば、ホワイトバランス調整処理、デモザイク処理、シェーディング処理、RGB カラーマトリクス処理、 γ 補正処理などを実行してカラー画像 116 を生成する。

[0057] <レンズ収差補正フィルタ係数について>

レンズ収差補正部 221 に供給される所定の像高におけるレンズ収差補正フィルタ係数について説明を加える。

[0058] レンズ収差補正フィルタ係数は、例えば、ウィナー (Wiener) フィルタが用いられて算出される。ここで、ウィナーフィルタについて簡単に説明する。

- (1) ぼけのない理想画像 (原画像)、
- (2) ぼけのある撮影画像、
- (3) 撮影画像に対するフィルタの適用処理によって復元される復元画像

、
これらの 3 つの画像を想定する。

[0059] ここで、

(1) ぼけのない理想画像（原画像）と、

(3) 撮影画像に対するフィルタの適用処理によって復元される復元画像

、

これらの2つの画像の二乗誤差を最小とするフィルタが、最小二乗フィルタ、またはウィナーフィルタと呼ばれる。

[0060] $f(x, y)$ を、ぼけのない理想画像（原画像）、

$g(x, y)$ を、ぼけを含む撮影画像、

$h(x, y)$ を、レンズ収差や手ぶれによる劣化関数、

$n(x, y)$ を、ノイズ成分、

とする。

(x, y) は各画像の画素位置であり、 $f(x, y) \sim n(x, y)$ は各画像の座標位置 (x, y) の画素値を示す場合もある。ここで、レンズ収差や手ぶれによる劣化関数 $h(x, y)$ が、固定値であると仮定すると、以下の式 (1) の関係が成り立つ。

[0061] [数1]

$$g(x, y) = \iint h(x-x', y-y') \cdot f(x', y') \cdot dx' dy' + n(x, y) \quad \dots (1)$$

[0062] 上記式 (1) の両辺をフーリエ変換すると、次式 (2) となる。

$$G(u, v) = H(u, v) \times F(u, v) + N(u, v) \quad \dots (2)$$

[0063] 式 (2) において、 $G(u, v)$ 、 $H(u, v)$ 、 $F(u, v)$ 、 $N(u, v)$ はそれぞれ $g(x, y)$ 、 $h(x, y)$ 、 $f(x, y)$ 、 $n(x, y)$ のフーリエ変換を表す。この式からレンズ収差や手ぶれによる劣化関数に零点がなく、ノイズ成分が既知であるとき、 $F(u, v)$ は、次式 (3) から求めることが可能である。

[0064]

[数2]

$$F(u, v) = \frac{G(u, v) - N(u, v)}{H(u, v)} \quad \dots (3)$$

[0065] しかしながら、一般にノイズ成分は未知であるため、上記式(3)を厳密に解くことはできない。そこで、理想画像(F)と、ぼけの補正された復元画像(F')の誤差を最小とする次式(4)のウィナーフィルタK(u, v)を用いてぼけ補正が行われる。

[0066] [数3]

$$K(u, v) = \frac{H(u, v)}{|H(u, v)|^2 + (S_n(u, v) / S_f(u, v))} \quad \dots (4)$$

[0067] ただし、上記式(4)において、

($S_n(u, v) / S_f(u, v)$) : 理想画像(原画像)Fと、ノイズNとのパワースペクトル密度(Γ)を示す。

$$(\Gamma = S_n(u, v) / S_f(u, v))$$

[0068] 次式(5)のとおり、このフィルタを逆フーリエ変換したものk(x, y)と、観測画像を実空間で畳み込むことで、ぼけ補正のされた画像f'(x, y)を得ることができる。

[0069] [数4]

$$f'(x, y) = k(x, y) \otimes g(x, y) \quad \dots (5)$$

[0070] 上記式(5)に従ったウィナーフィルタによるぼけ補正処理の一例を図3に示す。図3には、

(a) 撮影画像G

(b) ウィナーフィルタK

を示している。

[0071] 撮影画像は、RGB画素からなるRAW画像である。補正対象画素は、図3の左側に示した7×7画素の中心のG画素である。図3の右側に示したウィナーフィルタKは、7×7画素に含まれる複数のG画素各々に対する乗算係数を示したものである。7×7画素に含まれるG画素の画素値に各係数を

乗算して加算する畳み込み演算を実行して、中心のG画素の補正画素値を算出する。

[0072] 式で表すと、次式（6）となる。

[数5]

$$G_{\text{Deblur}} = \sum_{i=-3}^3 \sum_{j=-3}^3 P_G(i, j) \cdot F_G(i, j) \quad \dots (6)$$

[0073] 同様に、R画素についても処理される。図4は、R画素を処理するときの画像とフィルタの一例を示している。補正対象画素は、図4の左側に示した7×7画素の中心のR画素である。図4の右側に示したウィナーフィルタKは、7×7画素に含まれる複数のR画素各々に対する乗算係数を示したものである。7×7画素に含まれるR画素の画素値に各係数を乗算して加算する畳み込み演算を実行して、中心のR画素の補正画素値を算出する。

[0074] 式で表すと、次式（7）となる。

[数6]

$$R_{\text{Deblur}} = \sum_{i=-3}^3 \sum_{j=-3}^3 P_R(i, j) \cdot F_R(i, j) \quad \dots (7)$$

[0075] 同様に、B画素についても処理される。図5は、R画素を処理するときの画像とフィルタの一例を示している。補正対象画素は、図5の左側に示した7×7画素の中心のB画素である。図5の右側に示したウィナーフィルタKは、7×7画素に含まれる複数のB画素各々に対する乗算係数を示したものである。7×7画素に含まれるB画素の画素値に各係数を乗算して加算する畳み込み演算を実行して、中心のB画素の補正画素値を算出する。

[0076] 式で表すと、次式（8）となる。

[数7]

$$B_{\text{Deblur}} = \sum_{i=-3}^3 \sum_{j=-3}^3 P_B(i, j) \cdot F_B(i, j) \quad \dots (8)$$

[0077] このようなレンズ収差補正フィルタ係数を生成するには、レンズPSF（Point Spread Function）データが必要となる。PSF（点拡がり関数）は、

光学系の点光源に対する応答を表す関数である。図6に、レンズPSFデータの一例を示す。図6の左側に示した図は、像点の位置を表す図であり、右側のグラフは、各像点から得られるPSFデータ値を表す。

[0078] 図6の左側の図には、イメージセンサ（撮像素子112（図2））の有効領域301内に存在する1つの像高302を示す。また図6中、横方向をX軸、縦方向をY軸とする。像高302とY軸の交点を、像点A、像点Cとし、像高302とX軸との交点を、像点B、像点Dとする。

[0079] 図6の右側には、各像点A乃至Dから得られるグラフをそれぞれ表している。また各像点A乃至Dにおいて、サジタル（sagittal）方向とタンジェンシャル（tangential）方向でそれぞれ得られたグラフを表している。

[0080] 例えば、像点Aのサジタル方向から得られたグラフとタンジェンシャル方向から得られたグラフを比較した場合、同じ像点Aから得られるグラフであっても、その形は異なることがわかる。このことから、レンズPSFは、異方性があり、例えば、サジタル方向とタンジェンシャル方向でぼけ具合が異なることがわかる。

[0081] また、像点Aのサジタル方向から得られたグラフ、像点Bのサジタル方向から得られたグラフ、像点Cのサジタル方向から得られたグラフ、像点Dのサジタル方向から得られたグラフをそれぞれ比較した場合、同じサジタル方向から得られるグラフであっても、その形は異なることがわかる。このことから、レンズPSFは、同じ像高であっても、レンズ内の位置によりぼけ具合が異なることがわかる。このことは、タンジェンシャル方向においても同じである。

[0082] このように、同一レンズ内でもぼけ具合が異なる。ぼけ具合が異なる要因としては、例えば、製造時のばらつきなどがある。よって、同一工程で作られたレンズであっても、ぼけ具合は異なる可能性がある。

[0083] 例えば、図7に示すような軸外でコマ収差を補正する場合、角度に応じて非等方のレンズ収差補正フィルタ係数を複数保持する必要がある。

[0084] 仮に、像高毎に、サジタル方向やタンジェンシャル方向などの方向毎に、

角度毎に、レンズ収差補正フィルタ係数を保持するように構成した場合、保持すべきレンズ収差補正フィルタ係数の数が多くなり、それを保持するためのメモリの容量が大きくなってしまいう可能性が高い。

[0085] 保持すべきレンズ収差補正フィルタ係数の数を効果的に削減する構成について説明を続ける。ここでは、レンズPSFを、ガウス関数やベッセル関数等を用いて近似することにより、レンズ収差補正フィルタ係数の数を減らし、メモリを削減し、その結果として、回路規模を削減することができる場合について説明する。

[0086] <第1のレンズ収差補正フィルタ係数の求め方>

図8を参照し、ガウス関数を用いて、レンズ収差補正フィルタ係数を算出する工程について説明する。工程S1において、所定の像点において、レンズPSFデータが取得される。ここでは、図6を参照して説明したように、レンズの像高302上にあるX軸、Y軸上の4箇所の像点A、像点B、像点C、および像点Dから、それぞれサジタル方向とタンジェンシャル方向におけるPSFデータが取得されるとして説明を続ける。

[0087] この場合、光学レンズ111の端における同一像高上に位置する4個の像点から、この像高におけるレンズ収差補正フィルタ係数を求める場合を例に挙げて説明する。

[0088] 図8の工程S1に示したように、ここでは、8個のPSFデータが取得される。なお、このPSFデータを取得する像点（像高）の決め方については、後述する。

[0089] 工程S2において、得られたPSFデータの全てを用いて、平均化が行われる。この場合、8個のPSFデータの平均が求められる。

[0090] 工程S3において、平均化されたPSFデータと1種類のガウス関数を用いて、近似が行われる。ガウス関数の近似係数は、平均化を行ったPSFデータとガウス関数との最小二乗法を解くことにより求められる。

[0091] このような演算が行われた結果、工程S4において、等方的なPSFデータに近似されたPSFデータが求められる。

[0092] 工程S5において、等方的なPSFデータに近似されたPSFデータから、ウィナーフィルタを解くことによりレンズ収差補正フィルタ係数が求められる。

[0093] ここでは、1種類の関数を用いた近似例を示したが、ベッセル関数による近似も可能である。また、関数を組み合わせた結果が等方的になる限りは、複数の関数を組み合わせることによって、レンズPSFデータの近似精度を向上させるように構成することも可能であり、レンズPSFデータの近似精度を向上させることで、レンズ収差補正性能を向上させることも可能となる。

[0094] <第2のレンズ収差補正フィルタ係数の求め方>

次に、図9を参照し、ガウス関数を用いて、レンズ収差補正フィルタ係数を算出する他の工程について説明する。工程S11において、所定の像点において、MTF (Modulation Transfer Function) データが取得される。MTFデータは、レンズ性能を評価する指標のひとつで、被写体の持つコントラストをどの程度忠実に再現できるかを周波数特性によって表したデータである。

[0095] MTFデータのグラフは、図9の工程S11のところに示すように、横軸が空間周波数、縦軸がレンズによって結像される画像のMTFデータとされたグラフである。なお、MTFデータのグラフは、コントラスト再現率(%)、横軸に画面中心からの距離(mm)をとったグラフとされることもある。

[0096] 図9の工程S11のところに示したグラフも、図6を参照して説明したように、レンズの像高302上であり、X軸、Y軸上の4箇所の像点A、像点B、像点C、および像点Dから、それぞれサジタル方向とタンジェンシャル方向におけるMTFデータが取得されるとして説明を続ける。

[0097] MTFデータも、PSFデータと同じく、同一の像点において異方性があるため、方向により異なり、異なる像点においても異なる。よって、MTFデータも、PSFデータと同じく同一の像点において、複数の方向でのMTFデータを取得し、同一レンズ内でも、異なる像点から、それぞれMTFデ

ータが取得される。

[0098] 図9の工程S11に示したように、ここでは、8個のMTFデータが取得されるとして説明を続ける。なお、このMTFデータを取得する像点の決め方については、後述する。

[0099] 工程S12において、得られたMTFデータの全てを用いて、平均化が行われる。この場合、8個のMTFデータの平均が求められる。

[0100] 工程S13において、平均化されたMTFデータと1種類のガウス関数を用いて、近似が行われる。ガウス関数の近似係数は、平均化を行ったMTFデータとガウス関数との最小二乗法を解くことにより求められる。

[0101] このような演算が行われた結果、工程S14において、等方的なMTFデータに近似されたMTFデータが求められる。

[0102] 工程S15において、等方的なMTFデータに近似されたMTFデータから、ウィナーフィルタを解くことによりレンズ収差補正フィルタ係数が求められる。

[0103] ここでは、1種類の関数を用いた近似例を示したが、ベッセル関数による近似も可能である。また、関数を組み合わせた結果が等方的になる限りは、複数の関数を組み合わせることによって、MTFデータの近似精度を向上させるように構成することも可能であり、MTFデータの近似精度を向上させることで、レンズ収差補正性能を向上させることも可能となる。

[0104] このように、レンズ上の複数の像点から、また1つの像点の異なる角度から、それぞれ求められるPSFデータやMTFデータが平均化され、その平均化されたデータが用いられて、レンズ内の所定の像高におけるPSFデータやMTFデータの近似値が得られる。そして得られた近似値とウィナーフィルタが用いられて、レンズ収差補正フィルタ係数が算出される。

[0105] 所定の像高から算出されたレンズ収差補正フィルタ係数と、その所定の像高におけるレンズ収差補正フィルタ係数を用いた演算については、図3乃至5を参照して説明したので、ここではその説明を省略する。

[0106] <レンズ収差補正フィルタ係数を算出する像高について>

上記したように、所定の像高において、その像高に位置する画素に対して適用するレンズ収差補正フィルタ係数が算出される。1つのレンズに対して、複数の像高が選択され、それぞれの像高において、レンズ収差補正フィルタ係数が算出される。

[0107] 1つのレンズから選択される像高の個数を増やす、換言すれば、選択される像高の間隔を狭めることで、レンズ収差補正フィルタ係数を用いた細かなぼけ補正を行える可能性は高くなると思われるが、保持すべきレンズ収差補正フィルタ係数が多くなり、多くのメモリの容量が必要となる可能性が高くなる。

[0108] しかしながら、図11、図12を参照して後述するように、レンズ収差補正フィルタ係数が設定されていない像高の画素に対しては、補間により補正ができるため、また、図10を参照して説明するような方法で、レンズ収差補正フィルタ係数を算出する像高を決定するため、選択される像高の間隔を、ある程度広くとることが可能である。

[0109] 選択される像高の間隔は、等間隔とすることが可能であり、また、その間隔は、レンズによらず一定としても良い。しかしながら、ここでは、等間隔ではなく、図10を参照して説明するように、特徴がある像高を検出することで、効果的にレンズ収差フィルタ係数の数を削減することができ、その検出された像高のレンズ収差補正フィルタ係数を算出する場合を例に挙げて説明する。

[0110] 図10は、MTFデータのグラフを示す図であり、図10に示したMTFデータのグラフの縦軸は、MTFデータを表し、横軸は、像高を表す。図10に示したグラフを参照するに、MTFデータは、像高により変化し、一定値ではない。

[0111] 図10に示したように、MTFデータは、像高により変化する可能性がある。そこで、変化が激しい像高を、レンズ収差補正フィルタ係数を算出する像高として選択するようにする。

[0112] 図10においては、像高0は、レンズの中心位置なので、選択される。像

高2は、MTFデータが落ち込む像高であるため、選択される。像高1は、像高0と像高2の間隔が離れているため、その略中央の像高として選択される。

[0113] 像高3は、像高2で一旦下がったMTFデータが再度上がり、そして再度下がる転換点なので、選択される。像高4は、レンズの端であるため、選択される。例えば、図6の像点A乃至Dは、像高4の位置にある像点であり、像高4に該当するレンズ上の複数箇所から、MTFデータが取得され、上記したような処理によりレンズ収差補正フィルタ係数が算出される。

[0114] なお図10では、MTFデータとしたが、PSFデータであっても良い。PSFデータの場合も同様に、PSFの形状が大きく変化するところの像高が選択されればよい。

[0115] このように、レンズ収差補正フィルタ係数を算出する像高は、MTFデータの変化が激しい変曲点を選択される。また、レンズ中心や端なども、レンズ内では特徴的な位置であるため、その位置の像高も、レンズ収差補正フィルタ係数を算出する像高として選択される。

[0116] また、このような処理により選択された像高の個数が少ない場合や、選択された像高の間隔が広い場合、適切な間隔になるように追加の像高が選択されるようにすれば良い。

[0117] このようにして選択された像高から、複数の像点を選択され、選択された像点からMTFデータまたはPSFデータが取得されることで、レンズ収差補正フィルタ係数が算出される。

[0118] MTFデータのグラフやPSFデータのグラフは、レンズにより異なる可能性がある。よって、レンズ毎に、データが取得され、像高が選択され、レンズ収差補正フィルタ係数が算出されるようにすることで、レンズ毎に異なる特性に対応したレンズ収差補正フィルタ係数を算出できるようになり、ぼけ補正をより精度良く行えるようになる。

[0119] このようにして算出されるレンズ収差補正フィルタ係数は、例えば、レンズが製造される製造時に算出され、レンズと関連付けられて保持される。例

例えば、撮像装置100(図1)の本体と着脱自在のレンズ(光学レンズ111)の場合、光学レンズ111の筐体部分にメモリなどの保持機能が備えられ、その保持機能によりレンズ収差補正フィルタ係数が保持される。

[0120] この場合、図2に示したように、レンズ収差補正フィルタ係数は、信号処理部113と異なる外部の光学レンズ111側から供給される。

[0121] 光学レンズ111と撮像装置100が一体型の場合、レンズ収差補正部221(図2)にレンズ収差補正フィルタ係数が保持されるように構成しても良い。

[0122] または、光学レンズ111の製造時に算出されるのではなく、ユーザにより、撮像装置100が使用されているときに、レンズ収差補正フィルタ係数が算出されるような構成としても良い。

[0123] 例えば、ユーザにより、撮像装置100でテストパターンなどが撮影され、その撮影された画像から、PSFデータまたはMTFデータが取得され、上記したような方法により、レンズ収差補正フィルタ係数が算出されるように構成することも可能である。

[0124] このように、使用時に、レンズ収差補正フィルタ係数が算出されるようにした場合、使用環境の変化や経年変化などに対応して、レンズ収差補正フィルタ係数を適切に更新することが可能となる。また、光学レンズ111が交換可能な撮像装置である場合、光学レンズ111が交換されたときなどに、レンズ収差補正フィルタ係数を算出するための処理が実行され、保持されるように構成することも可能である。

[0125] または、光学レンズ111の製造時に、レンズ収差補正フィルタ係数を算出し、IPアドレスと関連付けて、光学レンズ111を製造した側で管理しておく。IPv6(Internet Protocol Version 6)の技術を用いれば、光学レンズ111にIPアドレスを割り振ることが可能である。またIPアドレスでなくても、光学レンズ111を一意に識別できる、例えば製造番号などでも良い。

[0126] このような構成とされた場合、一例として、光学レンズ111が、撮像装

置100に装着され、撮像装置100がネットワークに接続されたときに、IPアドレスや製造番号などに関連付けられているレンズ収差補正フィルタ係数がダウンロードされ、撮像装置100側で保持することが可能となる構成とすることができる。

[0127] このように、レンズ収差補正フィルタ係数は、光学レンズ111毎に算出され、撮像装置100のレンズ収差補正部221に供給または保持される。

[0128] <レンズ収差補正フィルタ係数の補間について>

次に、複数の像高にそれぞれ対応するレンズ収差補正フィルタ係数を用いて、ぼけの補正を行う場合の処理について、図11と図12を参照して説明する。

[0129] 図11は、レンズ収差補正フィルタ係数を算出するとして選択された像高の位置について説明するための図である。図11に示した例では、5箇所の像高が選択された例を示している。この5箇所は、図10に示した像高0乃至4に相当する。図11の下側に、MTFデータのグラフを示したが、このグラフは、図10に示したグラフと同じである。

[0130] 図10に示したグラフにおける像高0は、図11に示したグラフにおいては、像高 i_h0 と示している。同じく、像高1は、像高 i_h1 、像高2は、像高 i_h2 、像高3は、像高 i_h3 、像高4は、像高 i_h4 である。

[0131] 図11に示した例では、像高 i_h4 は、光学レンズ111のイメージサークル303上に位置している。像高 i_h0 乃至4の各像高に対するレンズ収差補正フィルタ係数は、それぞれ算出され、保持されている。

[0132] このような像高と、レンズ収差補正フィルタ係数が設定されている場合、光学レンズ111の座標 (x, y) におけるぼけ補正は、次式(9)に基づいて行われる。補正対象とされる座標 (x, y) に位置する画素の像高には、レンズ補正フィルタ係数は設定されていないために、以下の式(9)に基づいて座標 (x, y) に位置する画素の画素値が算出される。

[0133]

[数8]

$$\text{deblur}_r(x, y) = (1 - \alpha) \times \text{deblur_ih}_n + \alpha \times \text{deblur_ih}_{n+1}$$

$$\text{deblur_ih}_n = \sum_{i=-3}^3 \sum_{j=-3}^3 P_r(i, j) \cdot \text{Filter_ih}_n(i, j)$$

$$\text{deblur_ih}_{n+1} = \sum_{i=-3}^3 \sum_{j=-3}^3 P_r(i, j) \cdot \text{Filter_ih}_{n+1}(i, j)$$

・・・(9)

[0134] 式(9)において、 $\text{deblur}_r(x, y)$ は、座標 (x, y) における補正後の画素値を表す。 α は、ブレンド係数を表す。 $i h_n$ は像高位置を示し、例えば、図11における像高 $i h_0$ 乃至4である。

[0135] deblur_ih_n は、座標 (x, y) よりもレンズの中心に近い側で隣接するレンズ補正フィルタ係数が設定されている像高 $i h_n$ であり、その像高 $i h_n$ に設定されているレンズ補正フィルタ係数 $\text{Filter_ih}_n(i, j)$ を、座標 (x, y) に位置する画素の画素値 $P_r(i, j)$ に適用して算出された画素値を表す。

[0136] deblur_ih_{n+1} は、座標 (x, y) よりもレンズの中心よりも遠い側で隣接するレンズ補正フィルタ係数が設定されている像高 $i h_{n+1}$ であり、その像高 $i h_{n+1}$ に設定されているレンズ補正フィルタ係数 $\text{Filter_ih}_{n+1}(i, j)$ を、座標 (x, y) に位置する画素の画素値 $P_r(i, j)$ に適用して算出された画素値を表す。

[0137] ブレンド係数 α は、図11の上図において、 α_{10} 、 α_{21} 、 α_{32} 、 α_{43} と記載してある。すなわち、像高 $i h_0$ と像高 $i h_1$ との間の像高のときには、ブレンド係数 α_{10} が用いられ、像高 $i h_1$ と像高 $i h_2$ との間の像高のときには、ブレンド係数 α_{21} が用いられ、像高 $i h_2$ と像高 $i h_3$ との間の像高のときには、ブレンド係数 α_{32} が用いられ、像高 $i h_3$ と像高 $i h_4$ との間の像高のときには、ブレンド係数 α_{43} が用いられる。

[0138] ブレンド係数 α は、レンズ収差補正フィルタ係数が設定されている隣接する像高間で、同一の値が用いられるのではなく、図12に示したように、像高に応じて算出される。補正対象の画素の位置が、光学レンズ111の中心

からの距離 r であり、この距離 r が、像高 $i h_0$ 以上であり、像高 $i h_1$ よりも小さい場合、ブレンド係数 α_{10} が算出される。このブレンド係数 α_{10} は、距離 r から、像高 $i h_0$ を減算した値を、像高 $i h_1$ から像高 $i h_0$ を減算した値で除算した値とされる。

[0139] 補正対象の画素の位置が、像高 $i h_1$ 以上であり、像高 $i h_2$ よりも小さい場合、ブレンド係数 α_{21} が算出される。このブレンド係数 α_{21} は、距離 r から、像高 $i h_1$ を減算した値を、像高 $i h_2$ から像高 $i h_1$ を減算した値で除算した値とされる。

[0140] 補正対象の画素の位置が、像高 $i h_2$ 以上であり、像高 $i h_3$ よりも小さい場合、ブレンド係数 α_{32} が算出される。このブレンド係数 α_{32} は、距離 r から、像高 $i h_2$ を減算した値を、像高 $i h_3$ から像高 $i h_2$ を減算した値で除算した値とされる。

[0141] 補正対象の画素の位置が、像高 $i h_3$ 以上であり、像高 $i h_4$ 以下の場合、ブレンド係数 α_{43} が算出される。このブレンド係数 α_{43} は、距離 r から、像高 $i h_3$ を減算した値を、像高 $i h_4$ から像高 $i h_3$ を減算した値で除算した値とされる。

[0142] このように、ブレンド係数 α は、補正対象の画素の位置により、その位置に隣接する2つのレンズ収差補正フィルタ係数が設定されている像高を用いて算出される値とされる。すなわち、ブレンド係数 α は、図12に示したように、光学レンズ111の中心からの距離 $r(x, y)$ に応じて線形的に計算が行われることにより算出される値とされる。

[0143] 式(9)を参照するに、光学レンズ111の中心からの距離 $r(x, y)$ の補正後の画素値 $deblur_r(x, y)$ は、その距離 r の位置に前後するレンズ収差補正フィルタ係数が設定されている像高 $i h_n$ と像高 $i h_{n+1}$ に、それぞれ設定されているレンズ補正フィルタ係数が、補正対象とされている画素値 P_r に対して適用され、そのフィルタ適用後の画素値 $deblur_{ih_n}$ と画素値 $deblur_{ih_{n+1}}$ が用いられて算出される。

[0144] 式(9)に示したように、補正対象とされている画素の像高に隣接する像高

に、設定されているレンズ補正フィルタ係数を、補正対象とされている画素の画素値に適用して算出された補正後の画素値を、レンズ収差補正フィルタ係数が設定されていない画素の像高位置に応じてブレンドすることによってレンズ収差補正が行われる。

[0145] ここで、図2を再度参照する。像高算出部201には、撮像素子112から、各画素の画素値に対応付けられた各画素の座標位置を示すx yアドレスが供給される。像高算出部201は、供給されたx yアドレスから、上記した光学レンズ111の中心からの距離 $r(x, y)$ 、すなわち像高を導き出す。

[0146] ブレンド係数算出部202は、像高算出部201により算出された像高に応じたブレンド係数 α を、図12を参照して説明したように、光学レンズ111の中心からの距離 $r(x, y)$ に応じた線形的な演算により算出する。算出されたブレンド係数 α は、レンズ収差補正処理部204のブレンド処理部222に供給される。

[0147] このようなブレンド係数 α の算出に関わる処理が行われている一方で、レンズ収差補正処理部204のレンズ収差補正部221は、供給されるレンズ収差補正フィルタ係数を取得し、その取得されたレンズ収差補正フィルタ係数を用いて、処理対象とされている画素値のぼけ補正を行う。レンズ収差補正部221は、式(9)における画素値 $deblur\ ih_n$ と画素値 $deblur\ ih_{n+1}$ を算出する。

[0148] レンズ収差補正部221は、図3乃至5を用いて説明したように、 7×7 画素に含まれる画素の画素値に、レンズ収差補正フィルタ係数の各係数を乗算して加算する畳み込み演算を実行して、中心の画素の補正画素値を算出する。

[0149] ブレンド処理部222は、レンズ収差補正部221から供給される2つの補正後の画素値と、ブレンド係数算出部202から供給されるブレンド係数 α を用いて、式(9)に基づく演算を行い、最終的なレンズ収差補正後の画素値を算出し、エッジ・平坦部ブレンド処理部206に出力する。

[0150] このように、像高に応じたぼけ補正が行われる。

[0151] ここでは、レンズ収差補正部 2 2 1 によりレンズ収差の補正が行われた後、その補正後の画素値を用いたブレンド処理が行われ、補正対象とされた画素に対する最終的なレンズ収差補正後画素値が算出される例を示した。

[0152] 他の構成として、各像高位置で設定されているレンズ補正フィルタ係数を、ブレンド係数 α を用いてブレンドし、ブレンド後のレンズ補正フィルタ係数を算出し、そのブレンド後のレンズ補正フィルタ係数を用いたフィルタ処理を行うことで、像高依存に対応したレンズ収差補正が行われるようにしても良い。

[0153] この場合、次式 (10) に基づく演算で、補正が行われる。

[数9]

Filter_blend(i, j)

$$= (1 - \alpha) \times \text{Filter_ih}_n(i, j) + \alpha \times \text{Filter_ih}_{n+1}(i, j)$$

$$\text{deblur_r}(x, y) = \sum_{i=-3}^3 \sum_{j=-3}^3 P_r(i, j) \cdot \text{Filter_blend}(i, j)$$

・ ・ ・ (10)

[0154] 式 (10) において、Filter_blend(i, j) は、補正対象とされている画素に対して適用するレンズ補正フィルタ係数を表す。Filter_ihn は、像高 ih_n に設定されているレンズ補正フィルタ係数を表し、Filter_ihn+1 は、像高 ih_{n+1} に設定されているレンズ補正フィルタ係数を表す。像高 ih_n と像高 ih_{n+1} は、補正対象とされている画素の像高に隣接する像高である。

[0155] 式 (10) に示したように、補正対象とされている画素の像高に隣接する像高に設定されている 2 つのレンズ補正フィルタ係数をブレンドすることで、補正対象とされている画素に適用するレンズ補正フィルタ係数が算出される。このブレンドに用いられるブレンド係数 α は、図 12 を参照して説明したようにして算出される係数であり、上記した場合と同様にして算出され、用いられる。

[0156] deblur_r(x, y) は、補正対象とされている画素の補正後の画素値を表す。補

正対象とされている画素の画素値に、ブレンド後のレンズ補正フィルタ係数 $filter_blend(i, j)$ が用いられることで算出される。

[0157] このように、レンズ補正フィルタ係数をブレンドした後、補正対象とされている画素値に対して適用するようにした場合、図2に示した信号処理部113のレンズ収差補正処理部204内の構成は、ブレンド処理部222においてフィルタ係数のブレンドが行われた後、レンズ収差補正部221による補正が行われる構成とされる。

[0158] 本技術によれば、レンズのMTF特性に最適化されたレンズ収差補正処理が可能となる。また大規模なシステムを用いることなく、像高依存に対応したレンズ収差補正が可能となる。その結果、大規模なシステムを用いることができないイメージセンサ(撮像素子)内で像高依存に対応したレンズ収差補正が可能となる。

[0159] また像高依存のMTF曲線の変曲点から像高を選択することで、少ない像高点数でも精度の高いレンズ収差補正が可能となり、レンズ補正フィルタ係数を保持するメモリの容量の削減などによる小規模な回路で実現可能となる。

[0160] PSFデータを関数で近似することにより、回路の小規模化が可能となり、製造バラツキの影響を抑えたレンズ収差補正フィルタ係数の作成が可能となる。

[0161] <記録媒体について>

上述した一連の処理は、ハードウェアにより実行することもできるし、ソフトウェアにより実行することもできる。一連の処理をソフトウェアにより実行する場合には、そのソフトウェアを構成するプログラムが、コンピュータにインストールされる。ここで、コンピュータには、専用のハードウェアに組み込まれているコンピュータや、各種のプログラムをインストールすることで、各種の機能を実行することが可能な、例えば汎用のパーソナルコンピュータなどが含まれる。

[0162] 図13は、上述した一連の処理をプログラムにより実行するコンピュータ

のハードウェアの構成例を示すブロック図である。コンピュータにおいて、CPU (Central Processing Unit) 1001、ROM (Read Only Memory) 1002、RAM (Random Access Memory) 1003は、バス1004により相互に接続されている。バス1004には、さらに、入出力インタフェース1005が接続されている。入出力インタフェース1005には、入力部1006、出力部1007、記憶部1008、通信部1009、およびドライブ1110が接続されている。

[0163] 入力部1006は、キーボード、マウス、マイクロフォンなどよりなる。出力部1007は、ディスプレイ、スピーカなどよりなる。記憶部1008は、ハードディスクや不揮発性のメモリなどよりなる。通信部1009は、ネットワークインタフェースなどよりなる。ドライブ1110は、磁気ディスク、光ディスク、光磁気ディスク、または半導体メモリなどのリムーバブルメディア1111を駆動する。

[0164] 以上のように構成されるコンピュータでは、CPU1001が、例えば、記憶部1008に記憶されているプログラムを、入出力インタフェース1005およびバス1004を介して、RAM1003にロードして実行することにより、上述した一連の処理が行われる。

[0165] コンピュータ (CPU1001) が実行するプログラムは、例えば、パッケージメディア等としてのリムーバブルメディア1111に記録して提供することができる。また、プログラムは、ローカルエリアネットワーク、インターネット、デジタル衛星放送といった、有線または無線の伝送媒体を介して提供することができる。

[0166] コンピュータでは、プログラムは、リムーバブルメディア1111をドライブ1110に装着することにより、入出力インタフェース1005を介して、記憶部1008にインストールすることができる。また、プログラムは、有線または無線の伝送媒体を介して、通信部1009で受信し、記憶部1008にインストールすることができる。その他、プログラムは、ROM1002や記憶部1008に、あらかじめインストールしておくことができる

。

[0167] なお、コンピュータが実行するプログラムは、本明細書で説明する順序に沿って時系列に処理が行われるプログラムであっても良いし、並列に、あるいは呼び出しが行われたとき等の必要なタイミングで処理が行われるプログラムであっても良い。

[0168] また、本明細書において、システムとは、複数の装置により構成される装置全体を表すものである。

[0169] なお、本明細書に記載された効果はあくまで例示であって限定されるものではなく、また他の効果があってもよい。

[0170] なお、本技術の実施の形態は、上述した実施の形態に限定されるものではなく、本技術の要旨を逸脱しない範囲において種々の変更が可能である。

[0171] なお、本技術は以下のような構成も取ることができる。

[0172] (1)

複数の像高にそれぞれ設定されているぼけ補正を行うフィルタを取得する取得部と、

前記取得部により取得された前記フィルタを用いて、補正対象とされた像高における画素の画素値を補正する補正部と

を備える画像処理装置。

(2)

前記補正部は、

前記補正対象とされた像高に隣接する像高に設定されている前記フィルタを、前記補正対象とされた画素の画素値に適用し、

前記補正対象とされた像高と前記隣接する像高との位置関係から係数を算出し、

前記フィルタ適用後の画素値と前記係数を用いて補正後の画素値を算出する

前記(1)に記載の画像処理装置。

(3)

前記補正部は、

前記補正対象とされた像高と前記隣接する像高との位置関係から係数を算出し、

前記補正対象とされた像高に隣接する像高に設定されている前記フィルタと前記係数を用いて、前記補正対象とされた画素の画素値に適用するフィルタを生成し、

生成された前記フィルタと前記補正対象とされた画素の画素値を用いて補正後の画素値を算出する

前記（１）に記載の画像処理装置。

（４）

前記フィルタの係数は、

前記第１の像高上の複数の像点から、ＰＳＦ（Point Spread Function）データが算出され、

前記ＰＳＦデータが平均化され、

前記平均化された前記ＰＳＦデータが用いられて、所定の関数で近似され

、

前記近似された前記ＰＳＦデータから算出された係数である

前記（１）乃至（３）のいずれかに記載の画像処理装置。

（５）

前記フィルタの係数の算出は、ウィナーフィルタを用いる

前記（４）に記載の画像処理装置。

（６）

前記フィルタが設定されている像高は、前記ＰＳＦの形状が大きく変化するところの像高である

前記（４）または（５）に記載の画像処理装置。

（７）

前記フィルタの係数は、

前記第１の像高上の複数の像点から、ＭＴＦ（Modulation Transfer Funct

ion) データが算出され、

前記M T F データが平均化され、

前記平均化された前記M T F データが用いられて、所定の関数で近似され

、

前記近似された前記M T F データから算出された係数である

前記 (1)乃至 (3) のいずれかに記載の画像処理装置。

(8)

前記フィルタの係数の算出は、ウィナーフィルタを用いる

前記 (7)に記載の画像処理装置。

(9)

前記フィルタが設定されている像高は、前記M T F データの変曲点である

前記 (7)または (8) に記載の画像処理装置。

(10)

複数の像高にそれぞれ設定されているぼけ補正を行うフィルタを取得し、

取得された前記フィルタを用いて、補正対象とされた像高における画素の

画素値を補正する

ステップを含む画像処理方法。

(11)

複数の像高にそれぞれ設定されているぼけ補正を行うフィルタを取得し、

取得された前記フィルタを用いて、補正対象とされた像高における画素の

画素値を補正する

ステップを含む処理を実行させるためのコンピュータ読み取り可能なプログラム。

(12)

撮像素子と、

複数の像高にそれぞれ設定されているぼけ補正を行うフィルタを取得する

取得部と、

前記取得部により取得された前記フィルタを用いて、前記撮像素子で撮像

された画素のうち、補正対象とされた像高における画素の画素値を補正する補正部と

を備える撮像装置。

(13)

複数の像高にそれぞれ設定されているぼけ補正を行うフィルタを取得する取得部と、

前記取得部により取得された前記フィルタを用いて、補正対象とされた像高における画素の画素値を補正する補正部と、

前記補正部からの補正後の画素値に対して、所定の画像処理を施す画像処理部と

を備える電子機器。

符号の説明

[0173] 100 撮像装置, 111 光学レンズ, 112 撮像素子, 113 信号処理部, 131 画像信号補正部, 132 RGB信号処理部, 201 像高算出部, 202 ブレンド係数算出部, 203 ラインメモリ, 204 レンズ収差補正処理部, 205 エッジ検出部, 206 エッジ・平坦部ブレンド処理部

請求の範囲

- [請求項1] 複数の像高にそれぞれ設定されているぼけ補正を行うフィルタを取得する取得部と、
前記取得部により取得された前記フィルタを用いて、補正対象とされた像高における画素の画素値を補正する補正部と
を備える画像処理装置。
- [請求項2] 前記補正部は、
前記補正対象とされた像高に隣接する像高に設定されている前記フィルタを、前記補正対象とされた画素の画素値に適用し、
前記補正対象とされた像高と前記隣接する像高との位置関係から係数を算出し、
前記フィルタ適用後の画素値と前記係数を用いて補正後の画素値を算出する
請求項1に記載の画像処理装置。
- [請求項3] 前記補正部は、
前記補正対象とされた像高と前記隣接する像高との位置関係から係数を算出し、
前記補正対象とされた像高に隣接する像高に設定されている前記フィルタと前記係数を用いて、前記補正対象とされた画素の画素値に適用するフィルタを生成し、
生成された前記フィルタと前記補正対象とされた画素の画素値を用いて補正後の画素値を算出する
請求項1に記載の画像処理装置。
- [請求項4] 前記フィルタの係数は、
前記第1の像高上の複数の像点から、P S F (Point Spread Function) データが算出され、
前記P S F データが平均化され、
前記平均化された前記P S F データが用いられて、所定の関数で近

似され、

前記近似された前記 P S F データから算出された係数である
請求項 1 に記載の画像処理装置。

[請求項5] 前記フィルタの係数の算出は、ウィナーフィルタを用いる
請求項 4 に記載の画像処理装置。

[請求項6] 前記フィルタが設定されている像高は、前記 P S F の形状が大きく
変化するところの像高である
請求項 4 に記載の画像処理装置。

[請求項7] 前記フィルタの係数は、
前記第 1 の像高上の複数の像点から、M T F (Modulation Transfe
r Function) データが算出され、
前記 M T F データが平均化され、
前記平均化された前記 M T F データが用いられて、所定の関数で近
似され、

前記近似された前記 M T F データから算出された係数である
請求項 1 に記載の画像処理装置。

[請求項8] 前記フィルタの係数の算出は、ウィナーフィルタを用いる
請求項 7 に記載の画像処理装置。

[請求項9] 前記フィルタが設定されている像高は、前記 M T F データの変曲点
である
請求項 7 に記載の画像処理装置。

[請求項10] 複数の像高にそれぞれ設定されているぼけ補正を行うフィルタを取
得し、
取得された前記フィルタを用いて、補正対象とされた像高における
画素の画素値を補正する
ステップを含む画像処理方法。

[請求項11] 複数の像高にそれぞれ設定されているぼけ補正を行うフィルタを取
得し、

取得された前記フィルタを用いて、補正対象とされた像高における画素の画素値を補正する

ステップを含む処理を実行させるためのコンピュータ読み取り可能なプログラム。

[請求項12]

撮像素子と、

複数の像高にそれぞれ設定されているぼけ補正を行うフィルタを取得する取得部と、

前記取得部により取得された前記フィルタを用いて、前記撮像素子で撮像された画素のうち、補正対象とされた像高における画素の画素値を補正する補正部と

を備える撮像装置。

[請求項13]

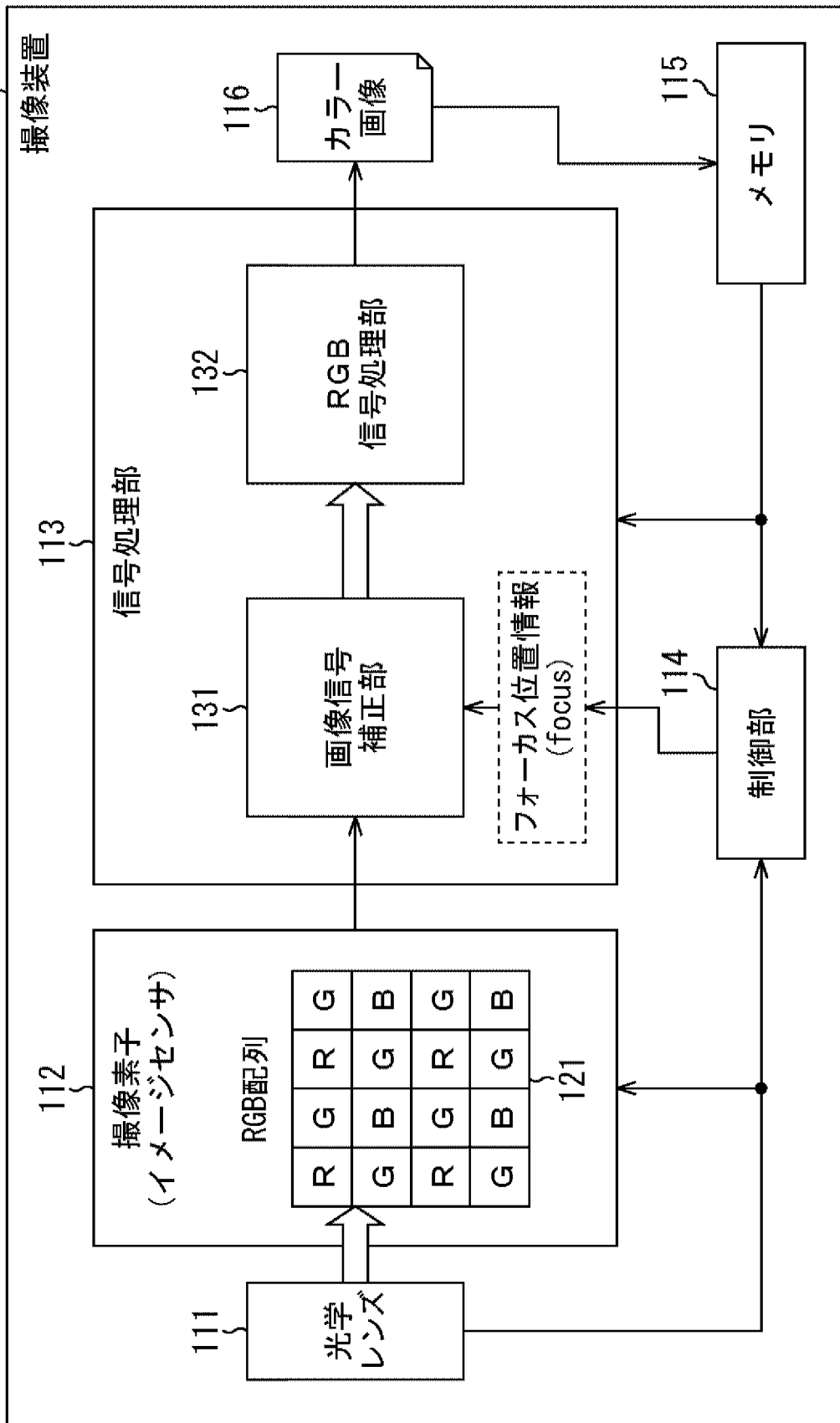
複数の像高にそれぞれ設定されているぼけ補正を行うフィルタを取得する取得部と、

前記取得部により取得された前記フィルタを用いて、補正対象とされた像高における画素の画素値を補正する補正部と、

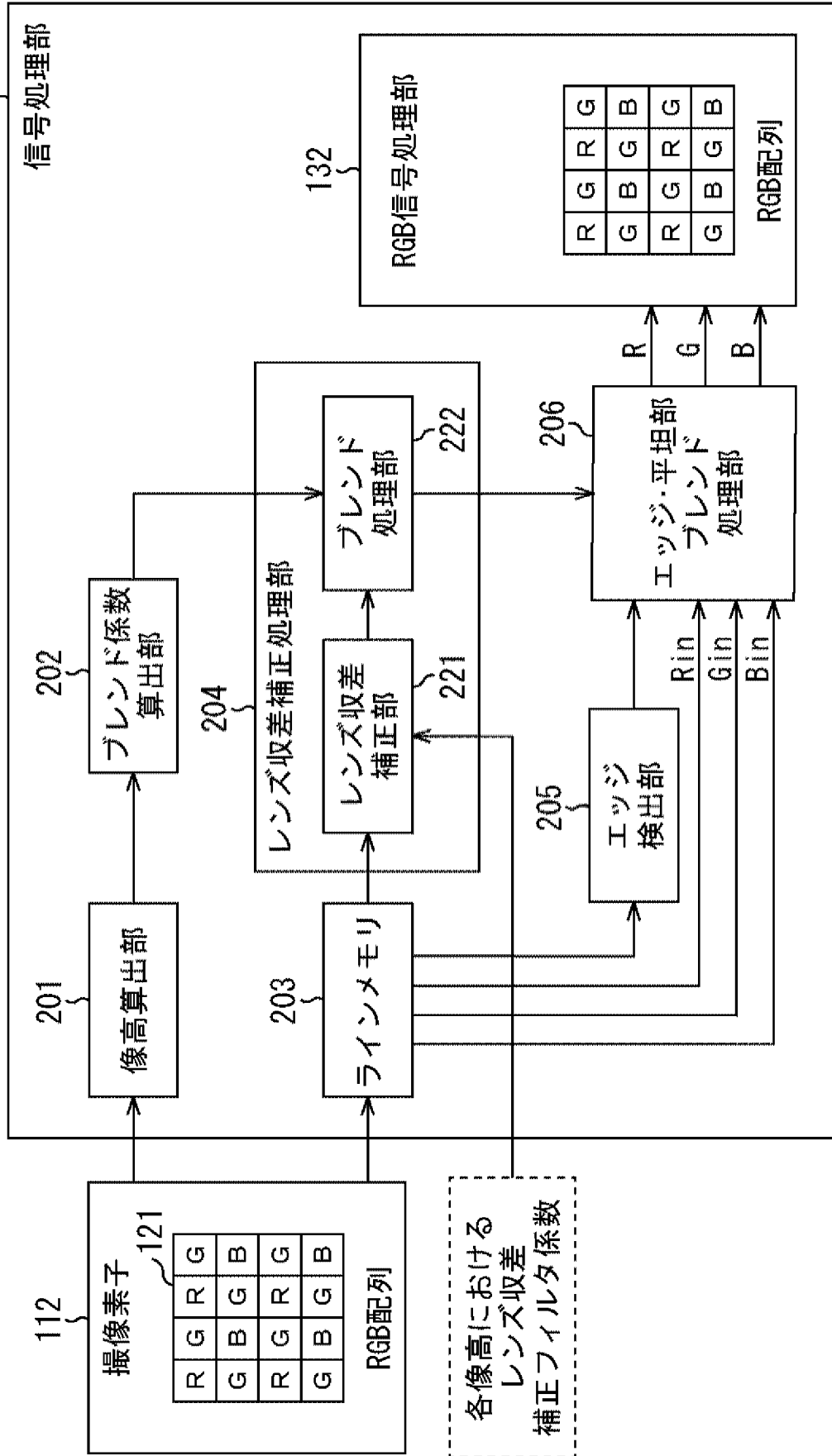
前記補正部からの補正後の画素値に対して、所定の画像処理を施す画像処理部と

を備える電子機器。

[図1]
図1

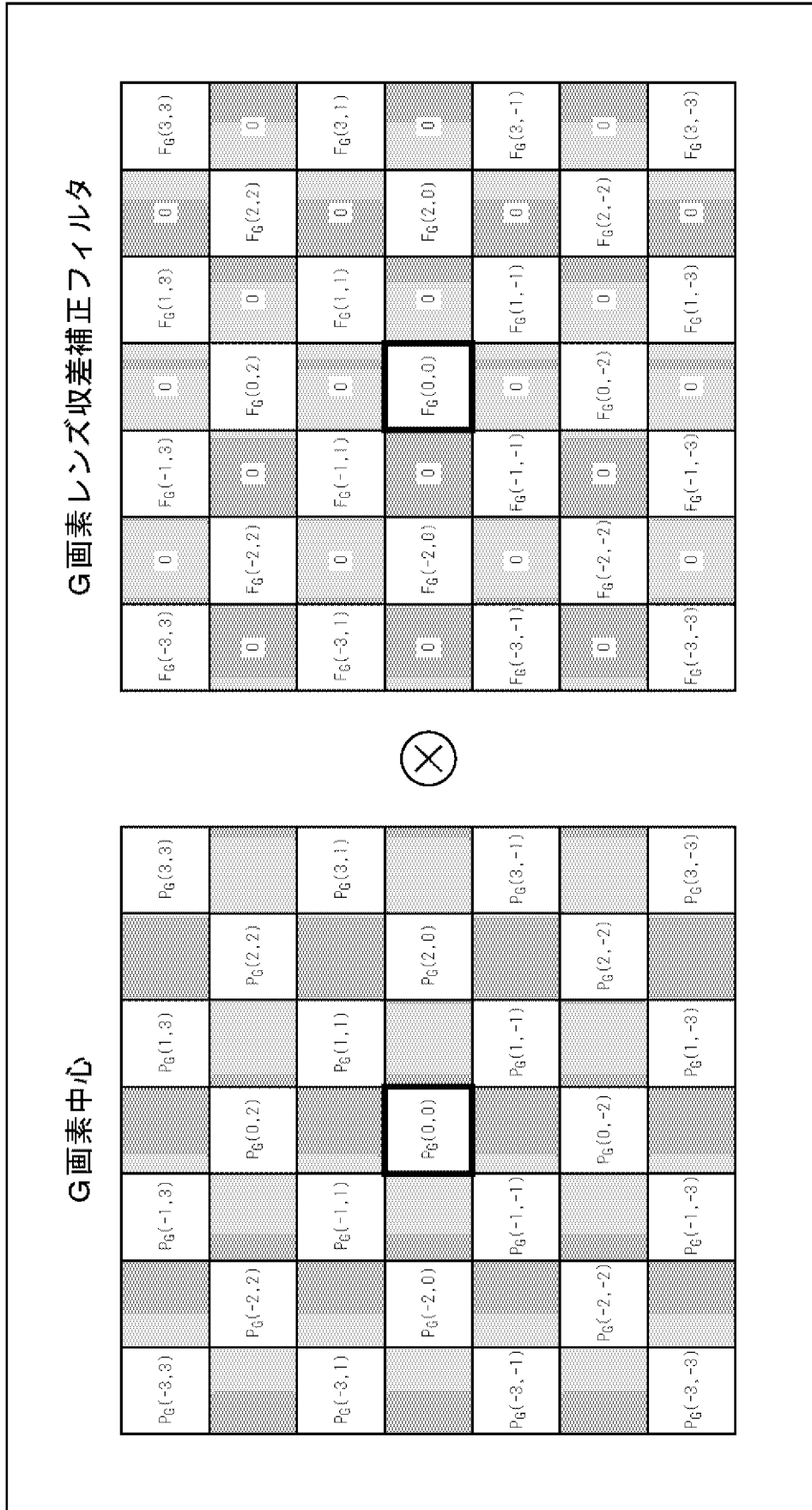


[図2]
図2



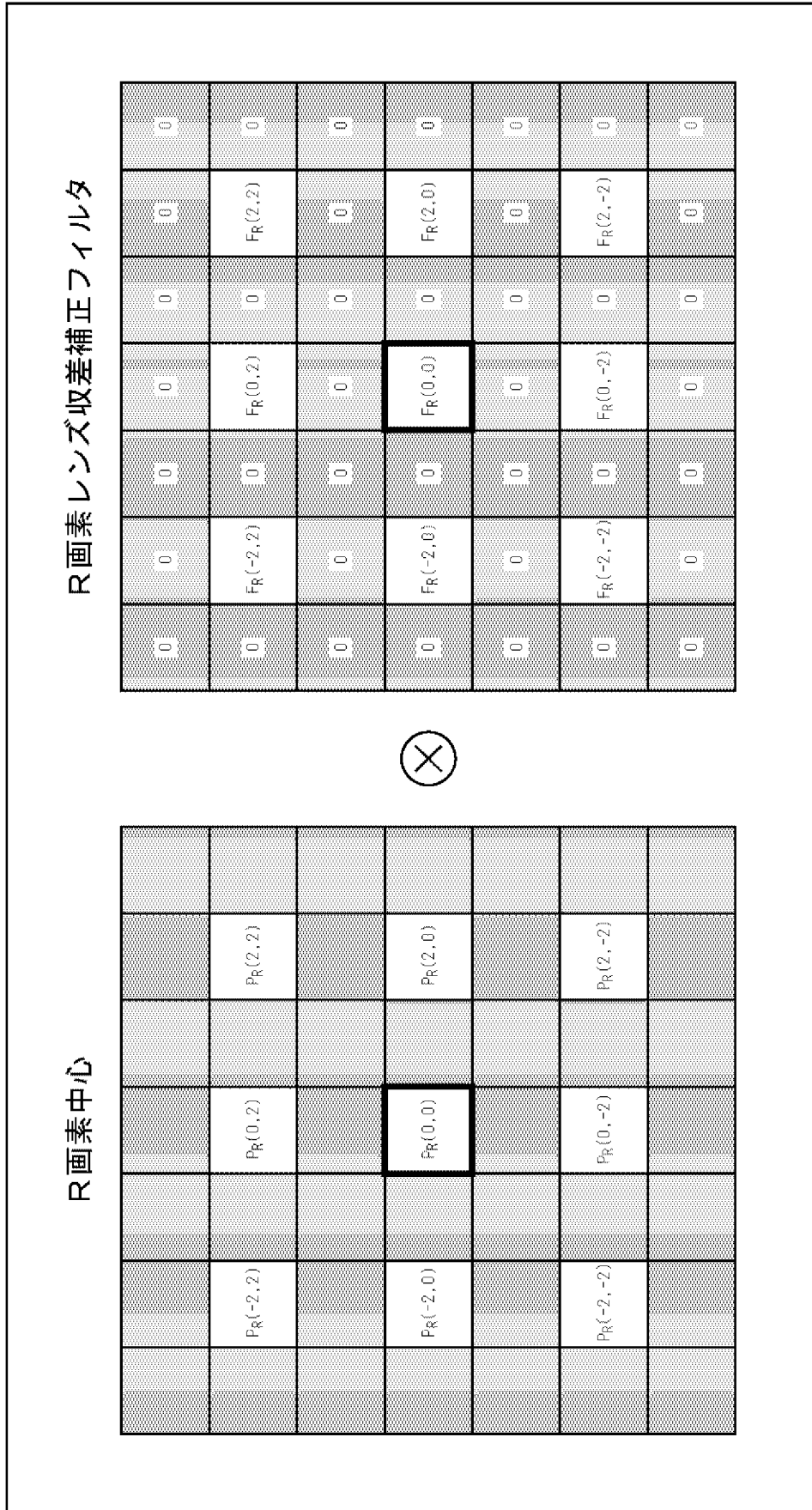
[図3]

図3



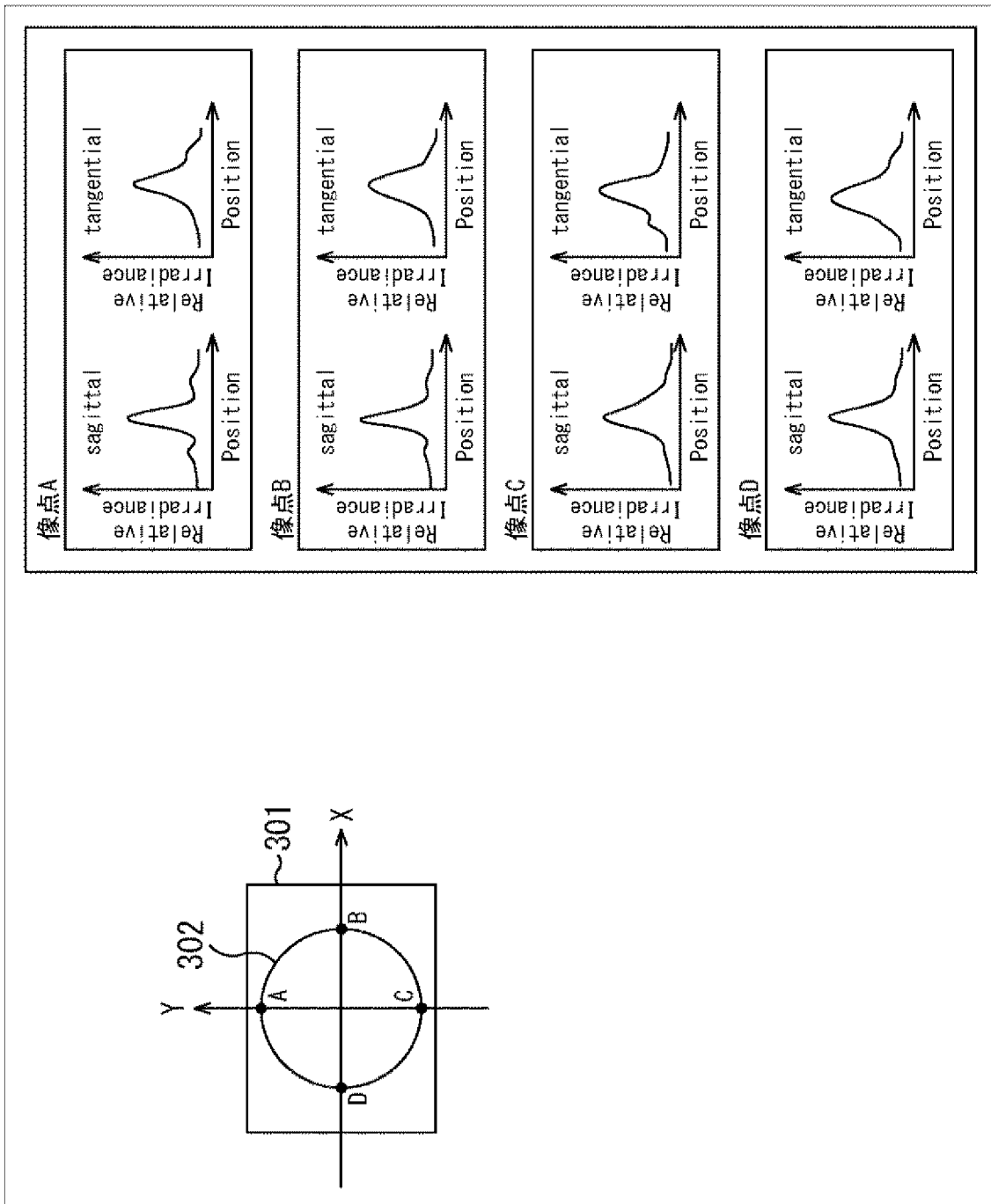
[図4]

図4



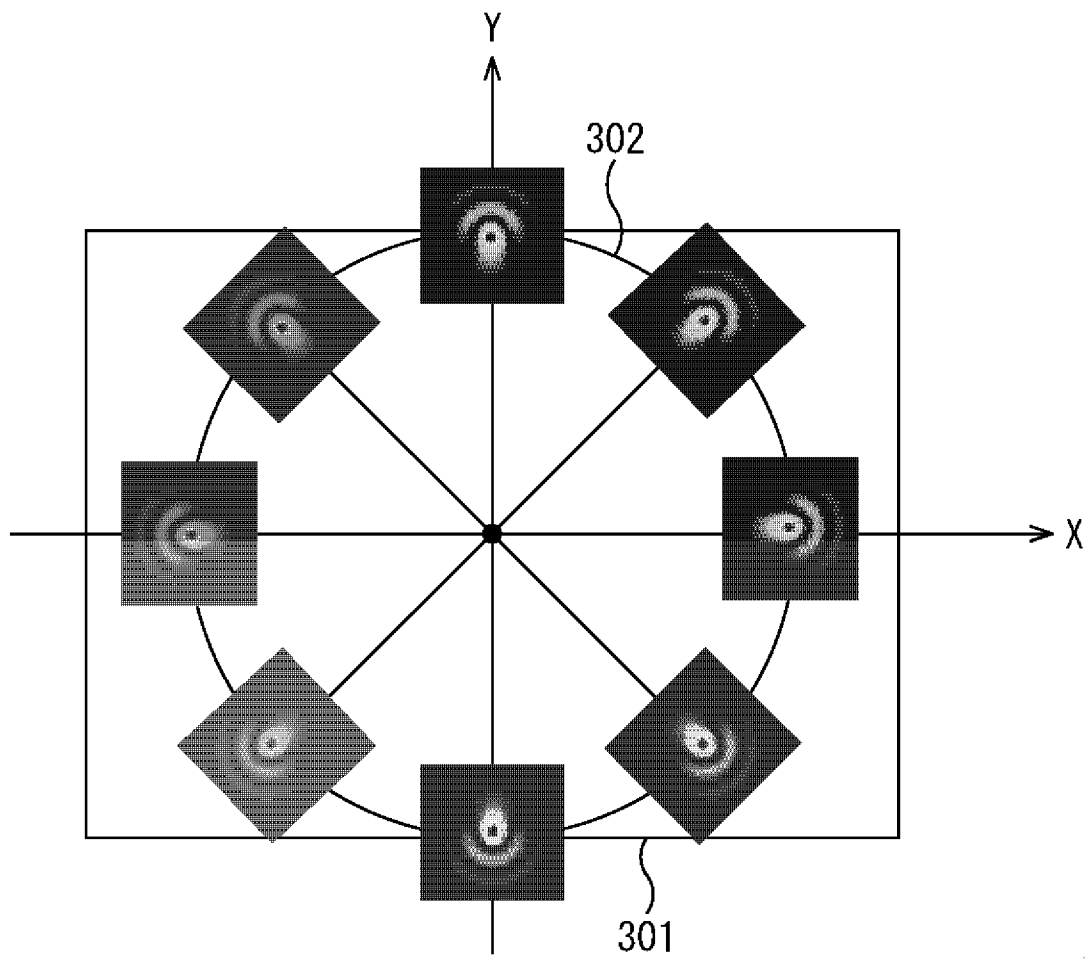
[図6]

図6

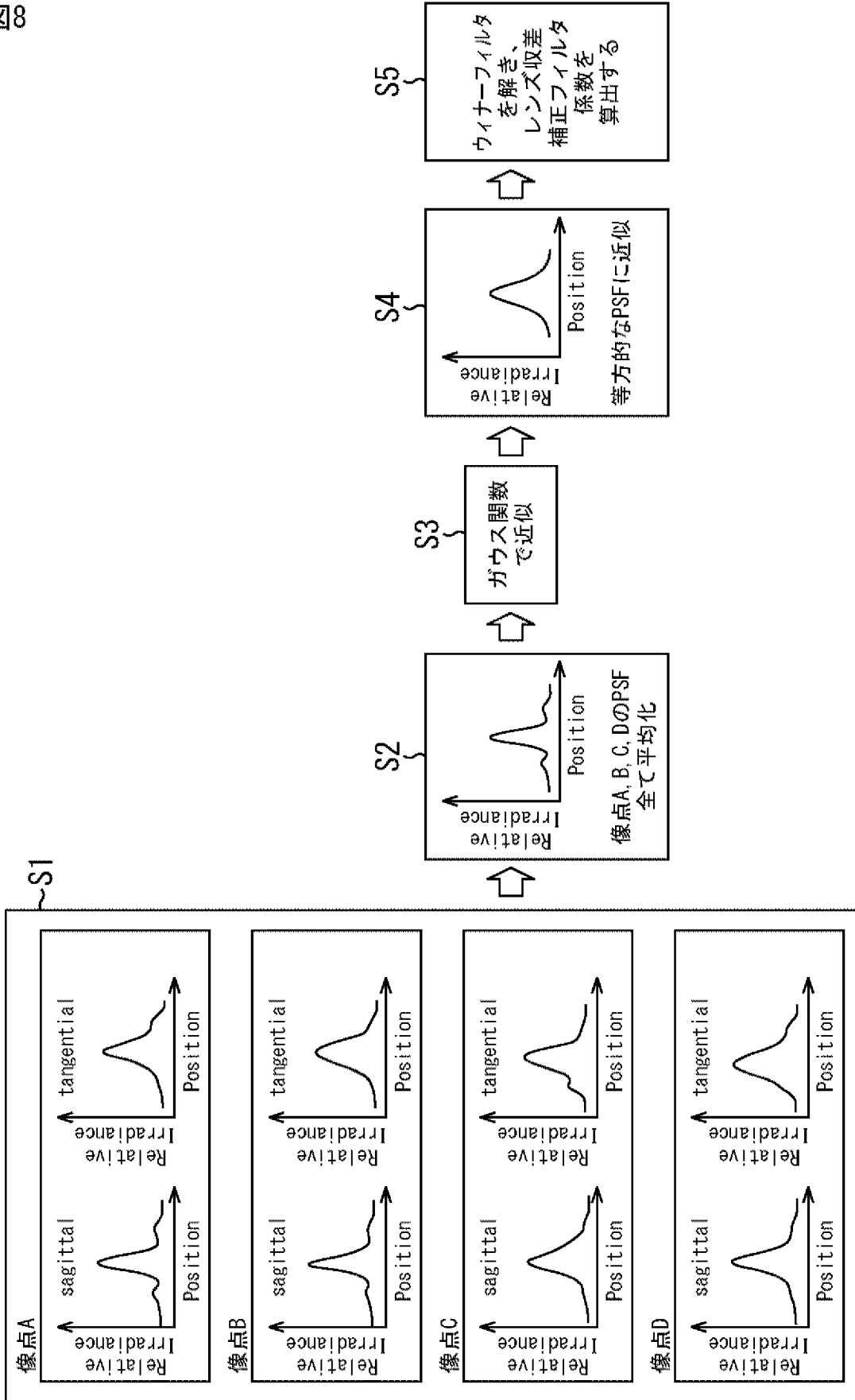


[図7]

図7

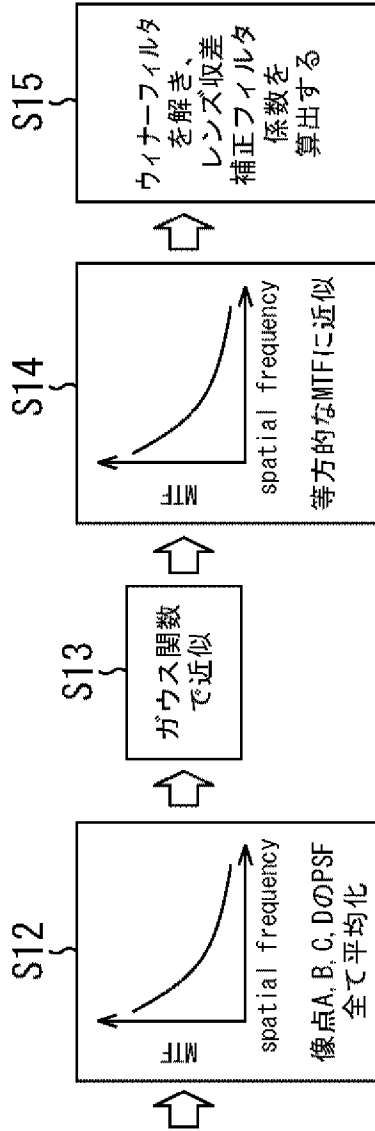
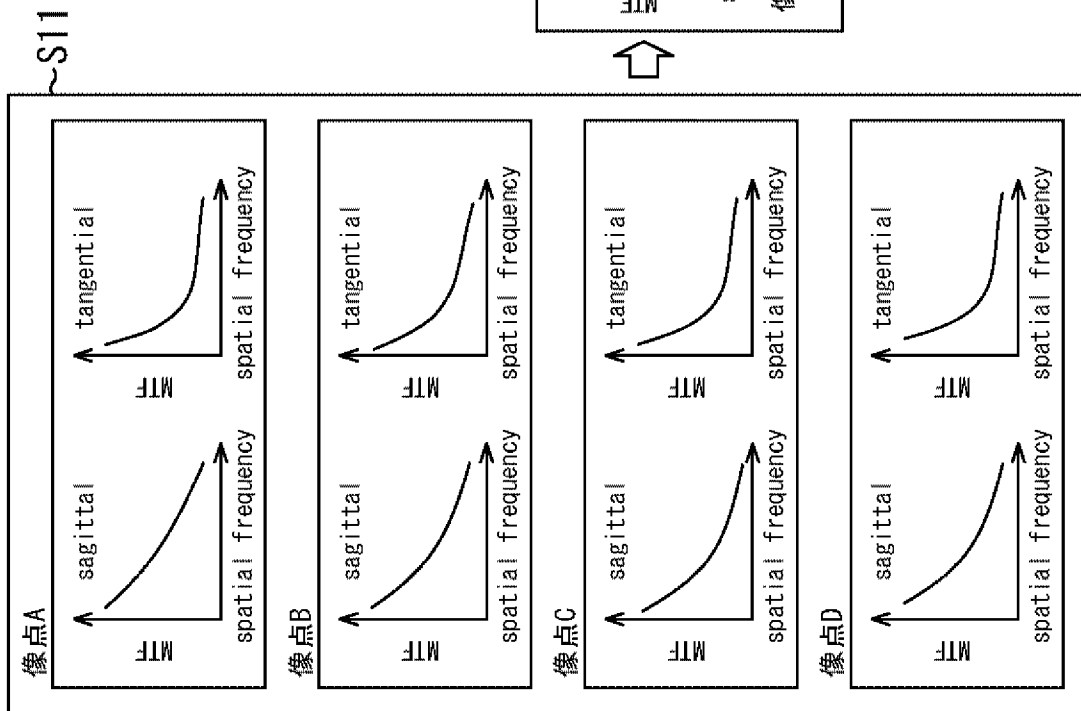


[図8]
図8



[図9]

図9



ウィナーフィルタを解き、
レンズ収差補正フィルタ
係数を算出する

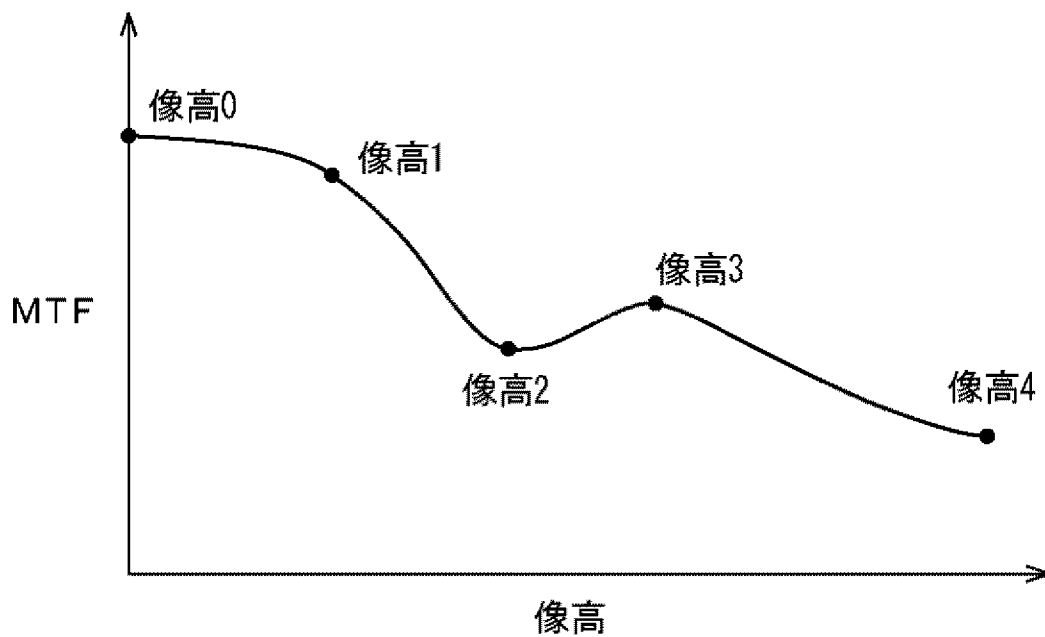
等方的なMTFに近似

ガウス関数
で近似

像点A, B, C, DのPSF
全て平均化

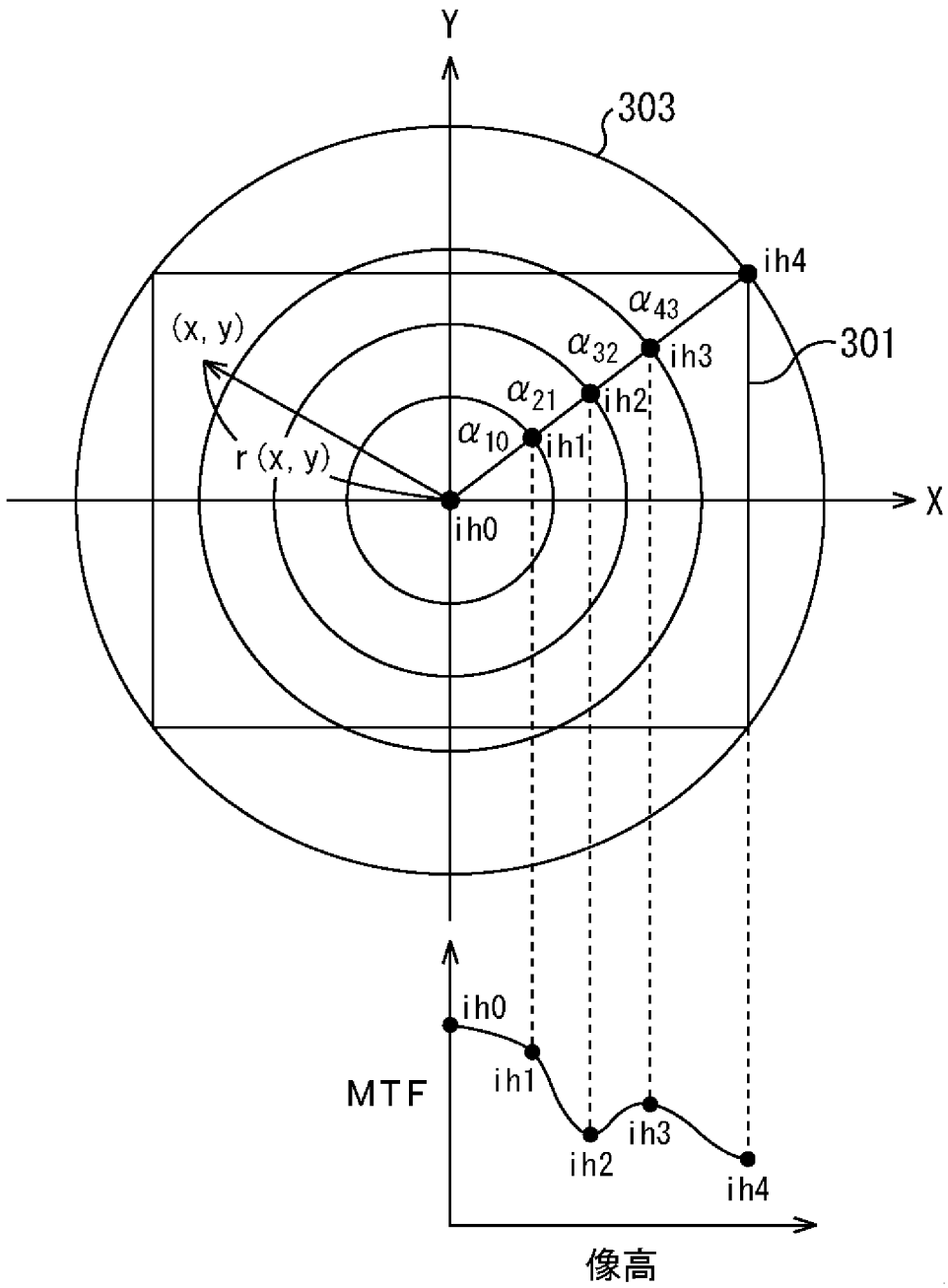
[図10]

図10



[図11]

図11



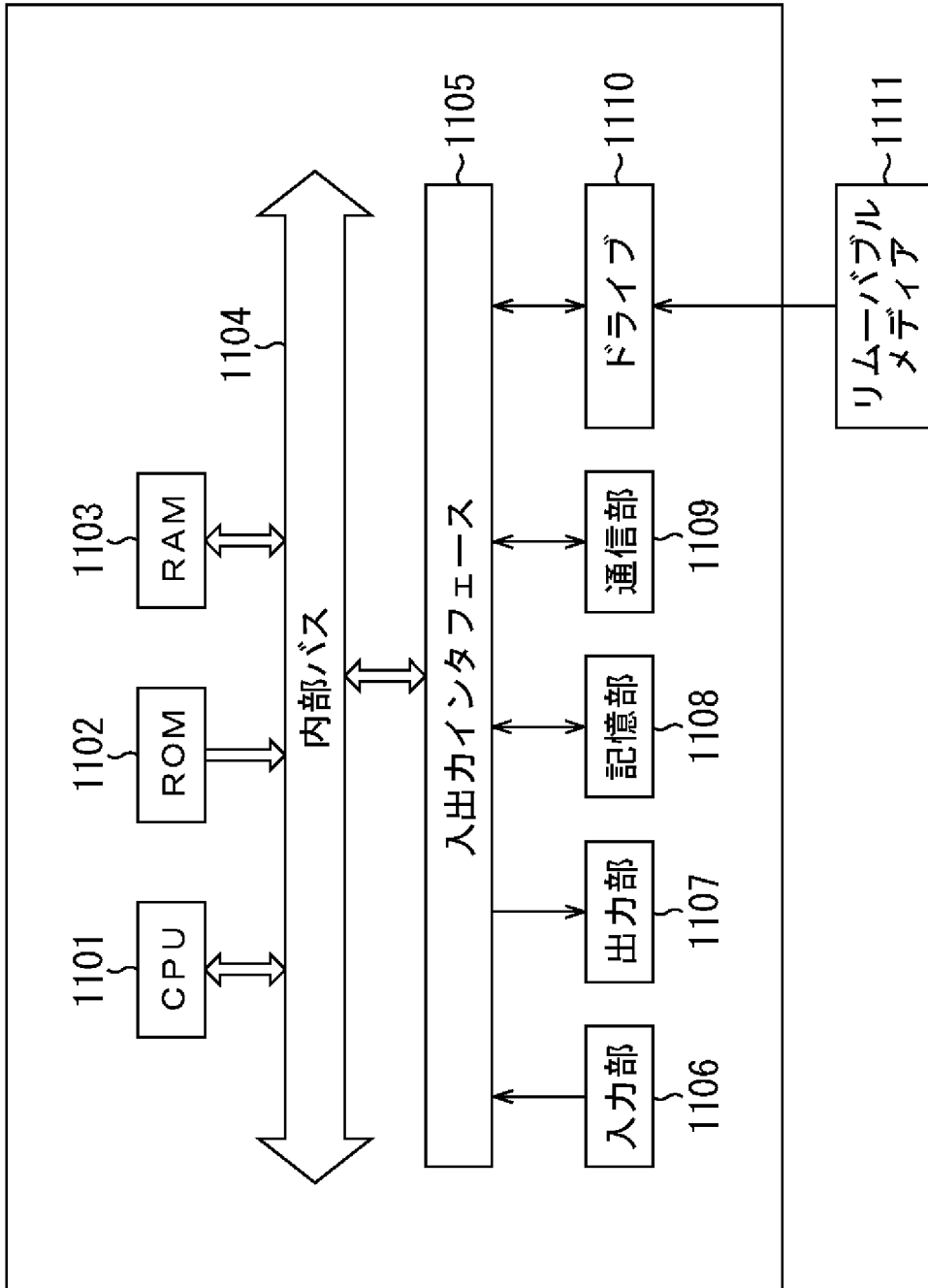
[図12]

図12

像高	ブレンド係数 α
$ih_0 \leq r < ih_1$	$\alpha_{10} = \frac{1}{ih_1 - ih_0} \times (r - ih_0)$
$ih_1 \leq r < ih_2$	$\alpha_{21} = \frac{1}{ih_2 - ih_1} \times (r - ih_1)$
$ih_2 \leq r < ih_3$	$\alpha_{32} = \frac{1}{ih_3 - ih_2} \times (r - ih_2)$
$ih_3 \leq r \leq ih_4$	$\alpha_{43} = \frac{1}{ih_4 - ih_3} \times (r - ih_3)$

[図13]

図13



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/JP2015/062635

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
H04N5/232(2006.01)i, G06T5/20(2006.01)i, H04N1/40(2006.01)i

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

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)
H04N5/232, G06T5/20, H04N1/40

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

Jitsuyo Shinan Koho	1922-1996	Jitsuyo Shinan Toroku Koho	1996-2015
Kokai Jitsuyo Shinan Koho	1971-2015	Toroku Jitsuyo Shinan Koho	1994-2015

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

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X A	JP 2012-15865 A (Canon Inc.), 19 January 2012 (19.01.2012), paragraphs [0001] to [0002], [0007] to [0009], [0014], [0018], [0021], [0024], [0029] to [0033], [0035], [0037], [0040] to [0042]; fig. 1 to 3, 5, 7 & US 2012/0002085 A1	1, 3, 10-13 2, 4-9
X A	JP 2002-369071 A (Olympus Optical Co., Ltd.), 20 December 2002 (20.12.2002), paragraphs [0020] to [0044], [0061] to [0065]; fig. 1 to 12 (Family: none)	1, 3, 10-13 2, 4-9

Further documents are listed in the continuation of Box C. See patent family annex.

* Special categories of cited documents:	"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance	"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date	"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art
"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)	"&" document member of the same patent family
"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means	
"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed	

Date of the actual completion of the international search 17 July 2015 (17.07.15)	Date of mailing of the international search report 28 July 2015 (28.07.15)
--	---

Name and mailing address of the ISA/ Japan Patent Office 3-4-3, Kasumigaseki, Chiyoda-ku, Tokyo 100-8915, Japan	Authorized officer Telephone No.
--	---

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2015/062635

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	JP 2013-55623 A (Sony Corp.), 21 March 2013 (21.03.2013), paragraphs [0035] to [0136]; fig. 1 to 17 & US 2013/0057734 A1 & CN 102984527 A	1-13

A. 発明の属する分野の分類（国際特許分類（IPC）） Int.Cl. H04N5/232(2006.01)i, G06T5/20(2006.01)i, H04N1/40(2006.01)i		
B. 調査を行った分野 調査を行った最小限資料（国際特許分類（IPC）） Int.Cl. H04N5/232, G06T5/20, H04N1/40		
最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの 日本国実用新案公報 1922-1996年 日本国公開実用新案公報 1971-2015年 日本国実用新案登録公報 1996-2015年 日本国登録実用新案公報 1994-2015年		
国際調査で使用した電子データベース（データベースの名称、調査に使用した用語）		
C. 関連すると認められる文献		
引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求項の番号
X A	JP 2012-15865 A（キヤノン株式会社）2012.01.19, 段落[0001]-[0002], [0007]-[0009], [0014], [0018], [0021], [0024], [0029]-[0033], [0035], [0037], [0040]-[0042], 図 1-3, 5, 7 & US 2012/0002085 A1	1, 3, 10-13 2, 4-9
X A	JP 2002-369071 A（オリンパス光学工業株式会社）2002.12.20, 段落[0020]-[0044], [0061]-[0065], 図 1-12 （ファミリーなし）	1, 3, 10-13 2, 4-9
<input checked="" type="checkbox"/> C欄の続きにも文献が列挙されている。 <input type="checkbox"/> パテントファミリーに関する別紙を参照。		
* 引用文献のカテゴリー 「A」特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの 「E」国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの 「L」優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献（理由を付す） 「O」口頭による開示、使用、展示等に言及する文献 「P」国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願日の後に公表された文献 「T」国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの 「X」特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの 「Y」特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの 「&」同一パテントファミリー文献		
国際調査を完了した日 17.07.2015	国際調査報告の発送日 28.07.2015	
国際調査機関の名称及びあて先 日本国特許庁（ISA/J P） 郵便番号100-8915 東京都千代田区霞が関三丁目4番3号	特許庁審査官（権限のある職員） ▲徳▼田 賢二 電話番号 03-3581-1101 内線 3581	5 P 9654

C (続き) . 関連すると認められる文献		
引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求項の番号
A	JP 2013-55623 A (ソニー株式会社) 2013. 03. 21, 段落[0035]-[0136], 図 1-17 & US 2013/0057734 A1 & CN 102984527 A	1-13