

(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
2022年8月25日(25.08.2022)



(10) 国際公開番号

WO 2022/176621 A1

(51) 国際特許分類:

G01J 3/26 (2006.01) G01J 3/51 (2006.01)
G01J 3/36 (2006.01) H04N 9/07 (2006.01)
G01J 3/46 (2006.01)

(21) 国際出願番号: PCT/JP2022/004003

(22) 国際出願日: 2022年2月2日(02.02.2022)

(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 2021-025219 2021年2月19日(19.02.2021) JP

(71) 出願人: パナソニック IP マネジメント株式会社(PANASONIC INTELLECTUAL PROPERTY MANAGEMENT CO., LTD.) [JP/JP]; 〒5406207 大阪府大阪市中央区城見2丁目1番61号 Osaka (JP).

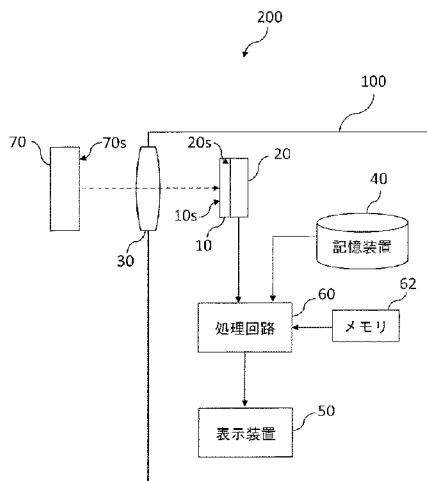
(72) 発明者: 清原 孝行 (KIYOHARA Takayuki).
八子 基樹 (YAKO Motoki). 石川 篤 (ISHIKAWA Atsushi).

(74) 代理人: 鎌田 健司, 外 (KAMATA Kenji et al.);
〒5406207 大阪府大阪市中央区城見2丁目1番61号 パナソニック IP マネジメント株式会社内 Osaka (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, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, IT, JO, JP, KE, KG, KH, KN, KP, KR, KW, 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, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, WS, ZA, ZM, ZW.

(54) Title: IMAGING SYSTEM, AND METHOD EXECUTED BY IMAGING SYSTEM

(54) 発明の名称: 撮像システム、および撮像システムによって実行される方法



(57) Abstract: This imaging system (200) uses compressed sensing technology and comprises: a filter array (10) including a plurality of types of filters having transmission spectra which differ from each other; an image sensor (20) that generates image data based on light transmitted through the filter array (10); a processing circuit (60) that generates hyperspectral image data including images corresponding to four or more bands included in a target wavelength range on the basis of the image data and a restoration table determined on the basis of the spatial distribution of the transmission spectra of the plurality of types of filters; and a light source (70) for emitting reference light that is used in calibration for correcting the restoration table and has the wavelength of at least one of the four or more bands. The processing circuit (60) corrects the restoration table on the basis of reference image data generated as a result of the image sensor (20) detecting the reference light.

40 Storage device
50 Display device
60 Processing circuit
62 Memory

(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).

添付公開書類:

一 国際調査報告 (条約第21条(3))

(57) 要約: 撮像システム (200) は、圧縮センシングの技術を用いる撮像システムであって、透過スペクトルが互いに異なる複数種類のフィルタを含むフィルタアレイ (10) と、前記フィルタアレイ (10) を通過する光に基づく画像データを生成するイメージセンサ (20) と、前記複数種類のフィルタの前記透過スペクトルの空間分布に基づいて決定される復元テーブル、および前記画像データに基づいて、対象波長域に含まれる4つ以上のバンドに対応する画像を含むハイパースペクトル画像データを生成する処理回路 (60) と、前記復元テーブルを補正するキャリブレーションに用いられる、前記4つ以上のバンドのうちの少なくとも1つのバンドの波長を有する参照光を出射する光源 (70) と、を備え、前記処理回路 (60) は前記イメージセンサ (20) が前記参照光を検出することによって生成した参照画像データに基づいて前記復元テーブルを補正する。

明 細 書

発明の名称：

撮像システム、および撮像システムによって実行される方法

技術分野

[0001] 本開示は、撮像システム、および撮像システムによって実行される方法に関する。

背景技術

[0002] ハイパースペクトルカメラは、一般的なRGBカメラと比較して、対象物についてより多くの波長情報を得ることができる。ハイパースペクトルカメラによって撮像された対象物のハイパースペクトル画像に基づいて、対象物のスペクトル特性を正確に分析することができる。ハイパースペクトルカメラは、分析、研究、および製品の検査などの様々な用途に用いられることが期待されている。ハイパースペクトルカメラには、プリズムまたはグレーティングなどの分光素子を用いる方式と、特許文献1に開示されている圧縮センシングの技術が用いる方式とがある。

[0003] ハイパースペクトルカメラが例えば経年劣化すると、ハイパースペクトル画像から得られる波長情報の精度が低下する可能性がある。この場合、ハイパースペクトルカメラのキャリブレーションが行われる。特許文献2は、分光素子を用いる分光装置のキャリブレーションの例を開示している。

先行技術文献

特許文献

[0004] 特許文献1：米国特許第9 5 9 9 5 1 1号明細書

特許文献2：特開2 0 0 3－9 0 7 6 1号公報

発明の概要

[0005] 本開示は、圧縮センシングの技術を用いる撮像装置のキャリブレーションを容易にする撮像システムを提供する。

[0006] 本開示の一態様に係る撮像システムは、圧縮センシングの技術を用いる撮

像システムであって、透過スペクトルが互いに異なる複数種類のフィルタを含むフィルタアレイと、前記フィルタアレイを通過する光に基づく画像データを生成するイメージセンサと、前記複数種類のフィルタの前記透過スペクトルの空間分布に基づいて決定される復元テーブル、および前記画像データに基づいて、対象波長域に含まれる4つ以上のバンドに対応する画像を含むハイパースペクトル画像データを生成する処理回路と、前記復元テーブルを補正するキャリブレーションに用いられる、前記4つ以上のバンドのうちの少なくとも1つのバンドの波長を有する参照光を出射する光源と、を備え、前記処理回路は、前記イメージセンサが前記参照光を検出することによって生成した参照画像データに基づいて、前記復元テーブルを補正する。

[0007] 本開示の包括的または具体的な態様は、システム、装置、方法、集積回路、コンピュータプログラムまたはコンピュータ読み取り可能な記録媒体で実現されてもよく、システム、装置、方法、集積回路、コンピュータプログラムおよび記録媒体の任意の組み合わせで実現されてもよい。コンピュータ読み取り可能な記録媒体は、例えばCD-ROM (Compact Disc - Read Only Memory) 等の不揮発性の記録媒体を含む。装置は、1つ以上の装置で構成されてもよい。装置が2つ以上の装置で構成される場合、当該2つ以上の装置は、1つの機器内に配置されてもよく、分離した2つ以上の機器内に分かれて配置されてもよい。本明細書および特許請求の範囲では、「装置」とは、1つの装置を意味し得るだけでなく、複数の装置からなるシステムも意味し得る。「システム」に含まれる複数の装置の中には、他の装置とは遠隔地に設置され、通信ネットワーク介して接続される装置も含み得る。

[0008] 本開示の技術によれば、圧縮センシングの技術を用いる撮像装置のキャリブレーションを容易にする撮像システムを実現することができる。

図面の簡単な説明

[0009] [図1A]図1Aは、対象波長域と、それに含まれる複数のバンドとの関係を説明するための図である。

[図1B]図1 Bは、ハイパースペクトル画像の例を模式的に示す図である。

[図2A]図2 Aは、フィルタアレイの例を模式的に示す図である。

[図2B]図2 Bは、図2 Aに示すフィルタアレイに含まれる第1フィルタの透過スペクトルの例を示す図である。

[図2C]図2 Cは、図2 Aに示すフィルタアレイに含まれる第2フィルタの透過スペクトルの例を示す図である。

[図2D]図2 Dは、対象波長域に含まれる複数のバンド W_1 、 W_2 、 $\dots$ 、 W_i のそれぞれの光の透過率の空間分布の例を示す図である。

[図3]図3は、本開示の例示的な実施形態による撮像システムの構成を模式的に示すブロック図である。

[図4A]図4 Aは、光源から出射される参照光のスペクトルの第1の例を模式的に示す図である。

[図4B]図4 Bは、光源から出射される参照光のスペクトルの第2の例を模式的に示す図である。

[図5]図5は、撮像時に処理回路が実行する動作の例を示すフローチャートである。

[図6]図6は、復元テーブルを補正するキャリブレーション動作の例を示すフローチャートである。

[図7A]図7 Aは、記憶装置に記憶されるデータの第1の例を示す図である。

[図7B]図7 Bは、記憶装置に記憶されるデータの第2の例を示す図である。

[図7C]図7 Cは、記憶装置に記憶されるデータの第3の例を示す図である。

[図8A]図8 Aは、表示装置に表示されるGUIの第1の例を模式的に示す図である。

[図8B]図8 Bは、表示装置に表示されるGUIの第2の例を模式的に示す図である。

[図9A]図9 Aは、撮像システムの外観形状の例を模式的に示す斜視図である。

[図9B]図9 Bは、図9 Aに示す光源を光出射面の側から見たときの斜視図で

ある。

[図10A]図10Aは、本開示の実施形態の変形例1による撮像システムの例を模式的に示す図である。

[図10B]図10Bは、本開示の実施形態の変形例2による撮像システムの例を模式的に示す図である。

[図11A]図11Aは、第1画像と行列形式で表現された画像データg1を示す図である。

[図11B]図11Bは、画像Im11と行列形式で表現された画像データf21を示す図である。

[図11C]図11Cは、画像Im22と行列形式で表現された画像データf22を示す図である。

[図11D]図11Dは、画像Im23と行列形式で表現された画像データf23を示す図である。

[図11E]図11Eは、画像Im24と行列形式で表現された画像データf24を示す図である。

[図12]図12は、第3光のスペクトルデータを示す図である。

[図13A]図13Aは、第3画像と行列形式で表現された画像データg3を示す図である。

[図13B]図13Bは、画像Im41と行列形式で表現された画像データf41を示す図である。

[図13C]図13Cは、画像Im42と行列形式で表現された画像データf42を示す図である。

[図13D]図13Dは、画像Im43と行列形式で表現された画像データf43を示す図である。

[図13E]図13Eは、画像Im44と行列形式で表現された画像データf44を示す図である。

[図14A]図14Aは、第5画像と行列形式で表現された画像データg5を示す図である。

[図14B]図14Bは、画像Im61と行列形式で表現された画像データf61を示す図である。

[図14C]図14Cは、画像Im62と行列形式で表現された画像データf62を示す図である。

[図14D]図14Dは、画像Im63と行列形式で表現された画像データf63を示す図である。

[図14E]図14Eは、画像Im64と行列形式で表現された画像データf64を示す図である。

発明を実施するための形態

[0010] 本開示において、回路、ユニット、装置、部材または部の全部または一部、またはブロック図における機能ブロックの全部または一部は、例えば、半導体装置、半導体集積回路（IC）、またはLSI（large scale integration）を含む1つまたは複数の電子回路によって実行され得る。LSIまたはICは、1つのチップに集積されてもよいし、複数のチップを組み合わせて構成されてもよい。例えば、記憶素子以外の機能ブロックは、1つのチップに集積されてもよい。ここでは、LSIまたはICと呼んでいるが、集積の度合いによって呼び方が変わり、システムLSI、VLSI（very large scale integration）、もしくはULSI（ultra large scale integration）と呼ばれるものであってもよい。LSIの製造後にプログラムされる、Field Programmable Gate Array（FPGA）、またはLSI内部の接合関係の再構成またはLSI内部の回路区画のセットアップができるreconfigurable logic deviceも同じ目的で使うことができる。

[0011] さらに、回路、ユニット、装置、部材または部の全部または一部の機能または操作は、ソフトウェア処理によって実行することが可能である。この場合、ソフトウェアは1つまたは複数のROM、光学ディスク、ハードディスクドライブなどの非一時的記録媒体に記録され、ソフトウェアが処理装置（

processor) によって実行されたときに、そのソフトウェアで特定された機能が処理装置 (processor) および周辺装置によって実行される。システムまたは装置は、ソフトウェアが記録されている1つまたは複数の非一時的記録媒体、処理装置 (processor)、および必要とされるハードウェアデバイス、例えばインターフェースを備えていてもよい。

[0012] 以下、本開示の例示的な実施形態を説明する。なお、以下で説明する実施形態は、いずれも包括的又は具体的な例を示すものである。以下の実施形態で示される数値、形状、構成要素、構成要素の配置位置及び接続形態、ステップ、ステップの順序などは、一例であり、本開示を限定する主旨ではない。また、以下の実施形態における構成要素のうち、最上位概念を示す独立請求項に記載されていない構成要素については、任意の構成要素として説明される。また、各図は模式図であり、必ずしも厳密に図示されたものではない。さらに、各図において、実質的に同一の構成要素に対しては同一の符号を付しており、重複する説明は省略又は簡略化される場合がある。

[0013] 本開示の実施形態を説明する前に、本開示の基礎となった知見を説明する。

[0014] まず、図1Aおよび図1Bを参照して、ハイパースペクトル画像の例を簡単に説明する。ハイパースペクトル画像は、一般的なRGB画像よりも多くの波長の情報を有する画像データである。RGB画像は、画素ごとに、赤 (R)、緑 (G)、および青 (B) の3つのバンドのそれぞれについての値を有する。これに対し、ハイパースペクトル画像は、RGB画像のバンド数よりも多くのバンドについての値を画素ごとに有する。本明細書において、「ハイパースペクトル画像」は、予め定められた対象波長域に含まれる4つ以上のバンドのそれぞれに対応する複数の画像を含む画像データを意味する。各画素がバンドごとに有する値を、以下の説明において、「画素値」と称する。ハイパースペクトル画像におけるバンド数は、典型的には10以上であり、場合によっては100を超えることもある。「ハイパースペクトル画像

」は、「ハイパースペクトルデータキューブ」または「ハイパースペクトルキューブ」と呼ばれることもある。

[0015] 図1 Aは、対象波長域 W と、それに含まれる複数のバンド W_1 、 W_2 、 $\dots$ 、 W_i との関係を説明するための図である。対象波長域 W は、用途によって様々な範囲に設定され得る。対象波長域 W は、例えば、約400 nmから約700 nmの可視光の波長域、約700 nmから約2500 nmの近赤外線の波長域、または約10 nmから約400 nmの近紫外線の波長域であり得る。あるいは、対象波長域 W は、中赤外または遠赤外の波長域であってもよい。このように、使用される波長域は可視光域とは限らない。本明細書では、可視光に限らず、紫外線および近赤外線などの可視光の波長域に含まれない波長の電磁波も便宜上「光」と称する。

[0016] 図1 Aに示す例では、 i を4以上の任意の整数として、対象波長域 W を i 等分したそれぞれの波長域をバンド W_1 、 W_2 、 $\dots$ 、 W_i としている。ただしこのような例に限定されない。対象波長域 W に含まれる複数のバンドは任意に設定してもよい。例えば、バンドによって幅を不均一にしてもよい。隣接するバンドの間にギャップがあってもよい。バンドの数が4つ以上であれば、RGB画像よりも多くの情報をハイパースペクトル画像から得ることができる。

[0017] 図1 Bは、ハイパースペクトル画像22の例を模式的に示す図である。図1 Bに示す例において、撮像対象はりんごである。ハイパースペクトル画像22は、バンド W_1 についての画像22 W_1 、バンド W_2 についての画像22 W_2 、 $\dots$ 、バンド W_i についての画像22 W_i を含む。これらの画像の各々は、2次元的に配列された複数の画素を含む。図1 Bには、画素の区切りを示す縦横の破線が例示されている。1画像当たりの実際の画素数は、例えば数万から数千万のように大きい値であり得るが、図1 Bにおいては、わかり易さのため、画素数が極端に少ないものとして画素の区切りが示されている。対象物を光で照射した場合に生じる反射光は、イメージセンサにおける光検出素子ごとに検出される。各光検出素子によって検出される光量を示す信号

が、その光検出素子に対応する画素の画素値を表す。ハイパースペクトル画像 22 における各画素は、バンドごとに画素値を有する。したがって、ハイパースペクトル画像 22 を取得することにより、対象物のスペクトルの 2 次元分布の情報を得ることができる。対象物のスペクトルに基づいて、対象物の光に関する特性を正確に分析することができる。

[0018] ハイパースペクトル画像データは、画像 22 W_1 に含まれる複数の画素の複数の画素値、画像 22 W_2 に含まれる複数の画素の複数の画素値、 $\dots$ 、画像 22 W_i に含まれる複数の画素の複数の画素値であってもよいし、当該複数の画素値を規格化した被写体の反射率を示す情報であってもよい。

[0019] 次に、ハイパースペクトル画像を生成する方法の例を簡単に説明する。ハイパースペクトル画像は、例えばプリズムまたはグレーティングなどの分光素子を用いた撮像によって取得することができる。プリズムを用いる場合、対象物からの反射光または透過光がプリズムを通過すると、当該光はプリズムの出射面から波長に応じた出射角で出射される。グレーティングを用いる場合、対象物からの反射光または透過光がグレーティングに入射すると、当該光は波長に応じた回折角で回折される。対象物からの光をプリズムまたはグレーティングによってバンドごとに分光し、分離された光をバンドごとに検出することにより、ハイパースペクトル画像を得ることができる。

[0020] ハイパースペクトル画像は、特許文献 1 に開示された圧縮センシングの技術を利用して取得することもできる。特許文献 1 に開示された圧縮センシングの技術では、符号化素子または符号化マスクと呼ばれるフィルタアレイを通して、対象物で反射された光がイメージセンサによって検出される。フィルタアレイは、2 次元的に配列された複数のフィルタを含む。それらのフィルタは、それぞれに固有の透過スペクトルを有する。そのようなフィルタアレイを用いた撮像により、複数のバンドの画像情報が 1 つの 2 次元画像として圧縮された圧縮画像が得られる。当該圧縮画像には、対象物のスペクトル情報が画素ごとに 1 つの画素値として圧縮されて記録される。換言すると、圧縮画像に含まれる各々の画素が、複数のバンドに対応する情報を含む。

[0021] 図2Aは、フィルタアレイ10の例を模式的に示す図である。フィルタアレイ10は、2次元的に配列された複数のフィルタを含む。各フィルタは、個別に設定された透過スペクトルを有する。透過スペクトルは、入射光の波長を λ として、関数 $T(\lambda)$ で表される。透過スペクトル $T(\lambda)$ は、0以上1以下の値を取り得る。図2Aに示す例において、フィルタアレイ10は、6行8列に配列された48個の矩形状のフィルタを有している。これはあくまで例示であり、実際の用途では、これよりも多くのフィルタが設けられ得る。フィルタアレイ10に含まれるフィルタの個数は、イメージセンサの画素数と同程度であってもよい。

[0022] 図2Bおよび図2Cは、それぞれ、図2Aのフィルタアレイ10に含まれる複数のフィルタのうち、第1フィルタA1および第2フィルタA2の透過スペクトルの例を示す図である。第1フィルタA1の透過スペクトルと第2フィルタA2の透過スペクトルとは、互いに異なっている。このように、フィルタアレイ10の透過スペクトルは、フィルタによって異なる。ただし、必ずしもすべてのフィルタの透過スペクトルが異なっている必要はない。フィルタアレイ10において、複数のフィルタのうちの少なくとも2つ以上のフィルタの透過スペクトルが互いに異なる。すなわち、フィルタアレイ10は、透過スペクトルが互いに異なる複数種類のフィルタを含む。ある例では、フィルタアレイ10に含まれる複数種類のフィルタの透過スペクトルのパターンの数は、対象波長域に含まれるバンドの数 i と同じか、それ以上であり得る。フィルタアレイ10は、半数以上のフィルタの透過スペクトルが異なるように設計されていてもよい。

[0023] 図2Dは、対象波長域に含まれる複数のバンド W_1 、 W_2 、 $\dots$ 、 W_i のそれぞれの光の透過率の空間分布の例を示す図である。図2Dに示す例において、各フィルタの濃淡の違いは、光透過率の違いを表している。薄いフィルタほど透過率が高く、濃いフィルタほど透過率が低い。図2Dに示すように、バンドによって光透過率の空間分布が異なっている。本明細書では、フィルタアレイにおけるバンドごとの光透過率の空間分布を示すデータを「復元

テーブル」と称する。圧縮センシングの技術により、復元テーブルを用いて圧縮画像からハイパースペクトル画像を復元することができる。圧縮センシングの技術ではプリズムまたはグレーティングを用いる必要がないので、ハイパースペクトルカメラを小型化することができる。さらに、圧縮センシングの技術では、複数のスペクトルの情報が1つの圧縮画像として圧縮されることにより、処理回路が処理するデータ量を低減することができる。圧縮センシングの技術によってハイパースペクトル画像を得る方法の詳細は、特許文献1に開示されている。特許文献1の開示内容の全体を本明細書に援用する。

[0024] フィルタアレイ10に対応する復元テーブルは、撮影前にキャリブレーションによって行列として定義される。復元テーブルの正確度は、実際の復元画像の精度に大きな影響を与える。したがって、復元テーブルのキャリブレーションを正確に行うことが求められる。このため、ハイパースペクトルカメラは、製造時に綿密なキャリブレーションを行うことによって正確な復元テーブルを生成した後に出荷される。復元テーブルは、例えば、厳格に温度管理された光学室において、波長可変レーザー光源および積分球を用いて以下のようにして取得され得る。波長可変レーザー光源は、対象波長域に含まれる任意の1つのバンドに対応する波長の光を出射する。波長可変レーザー光源から出射された光を積分球に入力して拡散反射させることにより、面状に均一な光が生成される。面状に均一な光は、フィルタアレイ10を介してイメージセンサによって検出される。以上の動作を対象波長域に含まれるすべてのバンドについてそれぞれ行うことにより、復元テーブルが生成される。対象波長域が10バンドを含む場合、復元テーブルのキャリブレーションにおいて10回の光検出が行われる。

[0025] 製造時に高い正確度の復元テーブルを生成したとしても、出荷後に例えば経年劣化またはレンズ交換によって復元テーブルとフィルタアレイなどの光学素子の透過特性との間にずれが生じると、ハイパースペクトル画像の復元精度が低下してしまう。復元テーブルのずれは、製造時に取得された復元テ

ーブルを構成する行列の各要素が、実際のフィルタアレイ 10 の光透過率からどれだけ異なっているかによって定義される。復元テーブルにずれが生じた場合、通常、ユーザはハイパースペクトルカメラを製造元に送り返す。製造元では、上記のキャリブレーションが再度行われ、復元テーブルが新たに作成される。復元テーブルにずれが生じるたびにハイパースペクトルカメラを製造元に送り返すのは、時間およびコストの点で問題がある。製造元に送り返すことなく、あらゆる撮影現場においてユーザが復元テーブルを補正することができれば、ハイパースペクトルカメラを長期的に安定して使用することができる。以上のことから、ユーザが現場において復元テーブルのキャリブレーションを簡易に行うことができる撮像システムが求められている。

[0026] 特許文献 2 は、作業現場において分光装置のキャリブレーションを行う方法を開示している。このキャリブレーションでは、分光装置によって得られる分光プロファイルの波長のずれが補正される。特許文献 2 の方法において、キャリブレーションに用いられるシステムは、キセノンランプおよびセンサアレイに加えて、積分球、白色板、およびグレーティングを備える。積分球は、キセノンランプから発せられた光を拡散反射させて均一にする。白色板は積分球の開口に取り付けられ、積分球内で均一化された光を反射する。グレーティングは、白色板で反射された光をバンドごとに分光してセンサアレイの各画素に入射させる。センサアレイの各画素に入射したバンドごとの光の強度から分光プロファイルが得られる。このようにして得られた分光プロファイルと予め記憶された基準の分光プロファイルとを比較することにより、分光装置によって得られる分光プロファイルの波長のずれが補正される。当該システムは、圧縮センシングの技術に用いられる復元テーブルのずれを補正するものではない。当該システムは、積分球およびグレーティングを備えるので依然として大型である。

[0027] 本発明者らは、上記の検討により、復元テーブルのキャリブレーションを簡易に行うことができる本開示の実施形態による撮像システムに想到した。本開示のある実施形態による撮像システムは、圧縮センシングの技術を用い

る撮像装置と、復元テーブルを補正するためのキャリブレーションに使用される参照光を出射する光源とを備える。本実施形態による撮像システムは、バンド分光のためのグレーティング、および光を拡散反射させて均一化する積分球を備える必要ないので小型かつ安価である。さらに、本実施形態による撮像システムには、厳格な温度管理が必要ない。以上のことから、本実施形態による撮像システムにより、ユーザは、実際の使用環境下で、復元テーブルを補正するキャリブレーションを簡易に行うことができる。以下に、本開示の実施形態による撮像システム、および撮像システムによって実行される方法を説明する。

[0028] 第1の項目に係る撮像システムは、圧縮センシングの技術を用いる撮像システムであって、透過スペクトルが互いに異なる複数種類のフィルタを含むフィルタアレイと、前記フィルタアレイを通過する光に基づく画像データを生成するイメージセンサと、前記複数種類のフィルタの前記透過スペクトルの空間分布に基づいて決定される復元テーブル、および前記画像データに基づいて、対象波長域に含まれる4つ以上のバンドに対応する画像を含むハイパースペクトル画像データを生成する処理回路と、前記復元テーブルを補正するキャリブレーションに用いられる、前記4つ以上のバンドのうちの少なくとも1つのバンドの波長を有する参照光を出射する光源と、を備える。前記処理回路は、前記イメージセンサが前記参照光を検出することによって生成した参照画像データに基づいて、前記復元テーブルを補正する。

[0029] この撮像システムでは、圧縮センシングの技術を用いる撮像装置のキャリブレーションが容易になる。

[0030] 第2の項目に係る撮像システムは、第1の項目に係る撮像システムにおいて、前記参照光のスペクトルデータを記憶する記憶装置をさらに備える。前記処理回路は、前記復元テーブルおよび前記参照画像データに基づいて、参照復元画像データを生成し、前記記憶装置に記憶された前記スペクトルデータと前記参照復元画像データとに基づいて前記復元テーブルを補正する。

[0031] この撮像システムでは、参照光のスペクトルデータおよび参照復元画像デ

ータに基づいて、復元テーブルを簡易に補正することができる。

[0032] 第3の項目に係る撮像システムは、第2の項目に係る撮像システムにおいて、前記処理回路が、補正された前記復元テーブルを前記記憶装置に記憶させる。

[0033] この撮像システムでは、記憶された補正後の復元テーブルに基づいて、対象物のハイパースペクトル画像データをより正確に生成することができる。

[0034] 第4の項目に係る撮像システムは、第1から第3の項目のいずれかに係る撮像システムにおいて、前記処理回路が、補正前における前記撮像システムの使用状況に関する情報を、補正された前記復元テーブルと対応付けて前記記憶装置に記憶させる。

[0035] この撮像システムでは、上記の情報が対応付けられた補正後の復元テーブルをユースケースとして使用することができる。

[0036] 第5の項目に係る撮像システムは、第1から第4の項目のいずれかに係る撮像システムにおいて、前記参照光が、前記4つ以上のバンドのうちの少なくとも2つのバンドの波長を有する。

[0037] この撮像システムでは、対象波長域に含まれる少なくとも2つのバンドについての復元テーブルのずれを補正することができる。

[0038] 第6の項目に係る撮像システムは、第1から第5の項目のいずれかに係る撮像システムにおいて、前記参照光が、前記4つ以上のバンドのすべての波長を有する。

[0039] この撮像システムでは、対象波長域に含まれるすべてのバンドについての復元テーブルのずれを補正することができる。

[0040] 第7の項目に係る撮像システムは、第5または第6の項目に係る撮像システムにおいて、前記参照画像データが複数の画素のデータを含む。前記複数の画素の各々のデータは、前記参照光が有する2つ以上のバンドの波長に対応する情報を含む。

[0041] この撮像システムでは、参照画像データは圧縮画像データである。

[0042] 第8の項目に係る撮像システムは、第1から第7の項目のいずれかに係る

撮像システムにおいて、前記イメージセンサが、前記キャリブレーションにおいて、前記対象波長域に含まれる前記バンドの数よりも少ない回数で前記参照光を検出することにより、前記参照画像データを生成する。

[0043] この撮像システムでは、対象波長域に含まれるバンドの数よりも少ない回数で参照光を検出することにより、参照画像データを効率的に生成することができる。

[0044] 第9の項目に係る撮像システムは、第1から第8の項目のいずれかに係る撮像システムにおいて、前記光源が光出射面を有する面光源であり。前記イメージセンサは、前記フィルタアレイを介して前記光出射面を撮像することにより、前記参照画像データを生成する。

[0045] この撮像システムでは、イメージセンサの光検出面を参照光で均一に照射することができる。

[0046] 第10の項目に係る撮像システムは、第1から第9の項目のいずれかに係る撮像システムにおいて、前記処理回路が、前記キャリブレーションの開始をユーザが指示するためのGUIを表示装置に表示させる。

[0047] この撮像システムでは、GUIを介したユーザの指示によってキャリブレーションを開始することができる。

[0048] 第11の項目に係る撮像システムは、第10の項目に係る撮像システムにおいて、前記処理回路が、前記キャリブレーション前における前記撮像システムの使用状況に関する情報を入力するためのGUIを表示装置に表示させる。

[0049] この撮像システムでは、上記の情報を入力することにより、過去の補正データの中から、使用状況が同一または類似の補正データを読み込むことができる。

[0050] 第12の項目に係る撮像システムは、第1から第11の項目のいずれかに係る撮像システムにおいて、前記参照画像データが、前記光源から参照物体に向けて出射され、前記参照物体で反射された前記参照光を前記イメージセンサが検出することによって生成される。

- [0051] この撮像システムでは、参照物体を介した参照光を検出して参照画像データを生成することができる。
- [0052] 第13の項目に係る撮像システムは、第1から第12の項目のいずれかに係る撮像システムにおいて、前記復元テーブルの前記補正が、前記復元テーブルに含まれる、前記透過スペクトルに対応する要素のずれを補正することを含む。
- [0053] この撮像システムでは、復元テーブルに含まれる、透過スペクトルに対応する要素のずれを補正することができる。
- [0054] 第14の項目に係る撮像システムは、圧縮センシングの技術を用いる撮像システムであって、透過スペクトルが互いに異なる複数種類のフィルタを含むフィルタアレイと、前記フィルタアレイを介した撮像により、画像データを生成するイメージセンサと、前記複数種類のフィルタの前記透過スペクトルの空間分布に基づいて決定される復元テーブル、および前記画像データに基づいて、対象波長域に含まれる4つ以上のバンドに対応する画像を含むハイパースペクトル画像データを生成する処理回路と、参照物体についてのスペクトルデータを記憶する記憶装置と、を備える。前記処理回路は、前記記憶装置に前記スペクトルデータが記憶されている前記参照物体を撮像することにより生成された参照画像データに基づいて、前記復元テーブルを補正する。
- [0055] この撮像システムでは、環境光が参照物体で反射されて生じた光を検出して生成された参照データに基づいて、復元テーブルを補正することができる。
- [0056] 第15の項目に係る方法は、コンピュータによって実行される、圧縮センシングの技術に関連するデータを処理する方法である。前記方法は、透過スペクトルが互いに異なる複数種類のフィルタを含むフィルタアレイを通過する光に基づいて画像データを生成するイメージセンサが、対象波長域に含まれる4つ以上のバンドのうち、少なくとも1つのバンドの波長を有する参照光を検出することによって生成した参照画像データを取得することと、前記

複数種類のフィルタの前記透過スペクトルの空間分布に基づいて決定される復元テーブルを取得することと、前記参照画像データに基づいて前記復元テーブルを補正することと、を含む。

[0057] この方法では、圧縮センシングの技術を用いる撮像装置のキャリブレーションが容易になる。

[0058] 第16の項目に係る方法は、第15の項目に係る方法において、前記参照光のスペクトルデータを取得することと、前記復元テーブルおよび前記参照画像データに基づいて、参照復元画像データを生成することと、前記スペクトルデータと前記参照復元画像データとに基づいて前記復元テーブルを補正することと、をさらに含む。

[0059] この方法では、参照光のスペクトルデータおよび参照復元画像データに基づいて、復元テーブルを簡易に補正することができる。

[0060] 第17の項目に係る方法は、第16の項目に係る方法において、補正された前記復元テーブルを記憶装置に記憶させることをさらに含む。

[0061] この方法では、記憶された補正後の復元テーブルに基づいて、対象物のハイパースペクトル画像データをより正確に生成することができる。

[0062] (実施形態)

[撮像システムの構成]

まず、図3を参照して、本開示の例示的な実施形態による撮像システムの構成を説明する。本実施形態による撮像システムは、圧縮センシングの技術を用いて対象物を撮像する撮像装置のキャリブレーションに用いられる。キャリブレーションでは、撮像装置に含まれるフィルタアレイに対応する復元テーブルが補正される。図3は、本開示の例示的な実施形態による撮像システムの構成を模式的に示すブロック図である。図3に示す撮像システム200は、撮像装置100と、光源70とを備える。撮像装置100は、フィルタアレイ10と、イメージセンサ20と、光学系30と、記憶装置40と、表示装置50と、処理回路60と、メモリ62とを備える。撮像装置100は、ハイパースペクトルカメラとして機能する。図3に示す撮像装置100

は、例えば、モバイル端末またはパーソナルコンピュータの構成の一部であってもよい。

[0063] フィルタアレイ 10 は光入射面 10 s を有する。フィルタアレイ 10 は、光入射面 10 s に入射した光の強度をフィルタごとに変調して出射する。フィルタアレイ 10 の詳細については前述した通りである。

[0064] イメージセンサ 20 は光検出面 20 s を有し、光検出面 20 s に沿って 2 次元的に配列された複数の光検出素子を含む。イメージセンサ 20 が有する光検出面 20 s の広さは、フィルタアレイ 10 の光入射面 10 s の広さにほぼ等しい。イメージセンサ 20 は、フィルタアレイ 10 を通過した光を受ける位置に配置される。イメージセンサ 20 に含まれる複数の光検出素子は、フィルタアレイ 10 に含まれる複数のフィルタにそれぞれ対応する。イメージセンサ 20 は、フィルタアレイ 10 を通過する光に基づく画像データを生成する。イメージセンサ 20 は、例えば CCD (Charge-Coupled Device) センサ、CMOS (Complementary Metal Oxide Semiconductor) センサ、または赤外線アレイセンサであり得る。光検出素子は、例えばフォトダイオードを含み得る。イメージセンサ 20 は、例えばモノクロタイプのセンサ、またはカラータイプのセンサであり得る。

[0065] 光学系 30 は、フィルタアレイ 10 と光源 70 との間に位置する。光学系 30 の光軸上に、フィルタアレイ 10 および光源 70 が位置する。光学系 30 は、少なくとも 1 つのレンズを含む。図 3 に示す例において、光学系 30 は 1 つのレンズによって構成されているが、複数のレンズの組み合わせによって構成されていてもよい。光学系 30 は、フィルタアレイ 10 を介して、イメージセンサ 20 の光検出面 20 s 上に像を形成する。

[0066] 記憶装置 40 は、フィルタアレイ 10 の透過特性に応じた復元テーブルを記憶する。ユーザがキャリブレーションを一度も行っていない場合、当該復元テーブルは製造元で作成されたテーブルである。記憶装置 40 は、後述するように、復元テーブルについての過去の補正データをさらに記憶している。

もよい。記憶装置40は、後述するように、光源70から出射される参照光のスペクトルデータをさらに記憶していてもよい。

[0067] 表示装置50は、対象物の撮像を開始することをユーザが指示するためのGUI (Graphic User Interface)、およびキャリブレーションを開始することをユーザが指示するためのGUIを表示する。表示装置50は、例えばモバイル端末またはパーソナルコンピュータのディスプレイであってもよい。

[0068] 処理回路60は、イメージセンサ20、記憶装置40、および表示装置50の動作を制御する。処理回路60は、復元テーブルと、イメージセンサ20によって生成された画像データとに基づいて、ハイパースペクトル画像データを生成する。さらに、処理回路60は、復元テーブルを補正するキャリブレーションのための必要な処理を行う。処理回路60によって実行されるコンピュータプログラムは、ROMまたはRAM (Random Access Memory) などのメモリ62に格納されている。このように、撮像装置100は、処理回路60およびメモリ62を含む処理装置を備えている。処理回路60およびメモリ62は、1つの回路基板に集積されていてもよいし、別々の回路基板に設けられていてもよい。処理回路60の機能が複数の回路に分散していてもよい。

[0069] 光源70は、復元テーブルを補正するためのキャリブレーションに用いられる。光源70は、対象波長域Wに含まれる4つ以上のバンドのうち、少なくとも1つのバンドの波長を有する参照光を出射する。当該少なくとも1つのバンドは、例えば、復元テーブルにずれが生じていると考えられるバンドであり得る。図3に示す矢印付きの破線は、光学系30を通過してフィルタアレイ10の光入射面10sに入射する参照光の光路を表す。フィルタアレイ10および光学系30は、参照光の光路上に位置する。光源70は、例えば、光出射面70sを有する面光源であり得る。光出射面70sの全体から参照光が均一に出射される。光源70の光出射面70sの広さ、光学系30のレンズ径、およびフィルタアレイ10の光入射面10sの広さは適切に設

計されており、光源 70 の光出射面 70 s から出射された参照光は光学系 30 を通過し、フィルタアレイ 10 が有する光入射面 10 s の全体に入射する。そのような構成により、フィルタアレイ 10 の光入射面 10 s の全体を参照光で均一に照射することができる。

[0070] [参照光のスペクトルデータ]

次に、図 4 A および図 4 B を参照して、本実施形態における光源 70 から出射される参照光のスペクトルの例を説明する。図 4 A および図 4 B は、本実施形態における光源 70 から出射される参照光のスペクトルの例を模式的に示す図である。図 4 A および図 4 B に示す縦軸は参照光の強度を表し、横軸は波長を表す。図 4 A および図 4 B に示す例において、対象波長域 W は 400 nm 以上 600 nm 以下である。対象波長域 W は、 20 nm 間隔で 10 個のバンド W_1 から W_{10} に分割されている。図 4 A に示す例において、参照光は、バンド W_4 、 W_5 、および W_7 の波長を有する。当該参照光は、バンド W_4 、 W_5 、および W_7 において復元テーブルのずれが生じている場合に有効である。図 4 B に示す例において、参照光は、全バンド W_1 から W_{10} の波長を有する。当該参照光は、全バンド W_1 から W_{10} において復元テーブルのずれが生じている場合に有効である。どのバンドで復元テーブルのずれが生じているかが予めわからない場合、光源 70 は、全バンド W_1 から W_{10} の波長を有する参照光を出射してもよい。1 つのバンドについてのみ復元テーブルのずれが生じていることが予めわかっている場合、光源 70 は、そのバンドの波長の光のみを参照光として出射してもよい。1 つのバンドについて復元テーブルのずれが生じ、他のバンドについて復元テーブルのずれが生じていない場合、光源 70 は当該 1 つのバンドの波長の光を含み、当該他のバンドの波長の光を含まない光を参照光として出射してもよい。

[0071] 復元テーブルにずれが生じていない場合における参照光のハイパースペクトル画像データは、例えば、各バンドについての画像データにおいてすべて同じ画素値を有し得る。図 4 A に示す例において、バンド W_4 、 W_5 、および W_7 の各々についての画像データは、すべて同じであって、ゼロより大きい画

素値を有する。それ以外のバンドについての画像データは、ほぼゼロの画素値を有する。光源 70 がそのような参照光を出射する場合、復元テーブルを補正するキャリブレーションの精度を向上させることができる。

[0072] 光源 70 から出射される参照光のスペクトルデータは、例えば以下の（１）－（３）のいずれかの方法で取得され得る。

（１）分光装置を用いて参照光のスペクトルデータを取得する。

（２）復元テーブルにずれが生じていないときの撮像装置 100 を用いて参照光のスペクトルデータを取得する。

（３）光源 70 の定格スペクトルデータを用いる。

[0073] （１）－（３）のいずれかの方法によって取得されたデータは、光源 70 の製造元からデータセットとして提供されてもよい。あるいは、（１）および（２）の方法については、ユーザ自らが実行してもよい。

[0074] 参照光のスペクトルデータは、復元テーブルを補正するキャリブレーションの前に記憶装置 40 に記憶されていてもよい。あるいは、復元テーブルを補正するキャリブレーションの前または最中に、ユーザが、入力装置を用いて参照光のスペクトルデータを入力してもよい。その場合、処理回路 60 は、入力された参照光のスペクトルデータを入力装置から取得する。

[0075] [復元テーブルのずれを補正する演算]

次に、復元テーブルのずれを補正する演算の例を説明する。イメージセンサ 20 によって取得された画像データ g 、復元テーブル A 、およびハイパースペクトル画像データ f は、以下の式（１）を満たす。

[0076] [数1]

$$g = Af \quad (1)$$

[0077] ここで、画像データ g およびハイパースペクトル画像データ f は、ベクトルのデータであり、復元テーブル A は、行列のデータである。画像データ g の画素数を N_g とすると、画像データ g は、 N_g 個の要素を持つ 1 次元配列す

なわちベクトルとして表される。ハイパースペクトル画像は複数の画像を含み、ハイパースペクトル画像データ f は当該複数の画像の各々に含まれる複数の画素の複数の画素値を含む。当該複数の画像の各々に含まれる複数の画素の数を N_f 、バンド数を M とすると、ハイパースペクトル画像データ f は、 $N_f \times M$ 個の要素を持つ 1 次元配列すなわちベクトルとして表される。復元テーブル A は、 N_g 行 ($N_f \times M$) 列の要素を持つ行列として表される。 N_g および N_f は同じ値に設計され得る。バンド数 M はハイパースペクトル画像に含まれる複数の画像の数に等しい。

[0078] ベクトル g と行列 A が与えられれば、式 (1) の逆問題を解くことにより、 f を算出することができそうである。しかし、求めるデータ f の要素数 $N_f \times M$ が取得データ g の要素数 N_g よりも多いため、この問題は不良設定問題であり、このままでは解くことができない。そこで、処理回路 60 は、データ f に含まれる画像の冗長性を利用し、圧縮センシングの手法を用いて解を求める。具体的には、以下の式 (2) を解くことにより、求めるデータ f が推定される。

[0079] [数2]

$$f' = \arg \min_f \{ \|g - Af\|_{l_2} + \tau \Phi(f) \} \quad (2)$$

[0080] ここで、 f' は、推定された f のデータを表す。上式の括弧内の第 1 項は、推定結果 Af と取得データ g とのずれ量、いわゆる残差項を表す。ここでは 2 乗和を残差項としているが、絶対値あるいは二乗和平方根などを残差項としてもよい。括弧内の第 2 項は、後述する正則化項または安定化項である。式 (2) は、第 1 項と第 2 項との和を最小化する f を求めることを意味する。処理回路 60 は、再帰的な反復演算によって解を収束させ、最終的な解 f を算出することができる。

[0081] 式 (2) の括弧内の第 1 項は、取得データ g と、推定過程の f を行列 A によってシステム変換した Af との差分の二乗和を求める演算を意味する。第 2 項の $\Phi(f)$ は、 f の正則化における制約条件であり、推定データのスパ

ース情報を反映した関数である。働きとしては、推定データを滑らかまたは安定にする効果がある。正則化項は、例えば、 f の離散的コサイン変換 (DCT)、ウェーブレット変換、フーリエ変換、またはトータルバリエーション (TV) などによって表され得る。例えば、トータルバリエーションを使用した場合、観測データ g のノイズの影響を抑えた安定した推測データを取得できる。それぞれの正則化項の空間における対象物のスパース性は、対象物のテキスチャによって異なる。対象物のテキスチャが正則化項の空間においてよりスパースになる正則化項を選んでもよい。あるいは、複数の正則化項を演算に含んでもよい。 τ は、重み係数である。重み係数 τ が大きいほど冗長的なデータの削減量が多くなり、圧縮する割合が高まる。重み係数 τ が小さいほど解への収束性が弱くなる。重み係数 τ は、 f がある程度収束し、かつ、過圧縮にならない適度な値に設定される。

[0082] 経年劣化などの種々の原因により、復元テーブル A とフィルタアレイ 10 などの光学素子の透過特性との間にずれが生じた場合、実際の復元テーブルは、ずれ成分を対角行列 A_s として $A_s A$ によって表される。このとき、 $A_s A = A A_s$ の関係が成り立つ。復元テーブルのずれは、復元テーブルに含まれる、透過スペクトルに対応する要素のずれである。参照光をイメージセンサ 20 によって検出する場合、ハイパースペクトル画像データ f として、参照光のスペクトルデータ l が用いられる。イメージセンサ 20 によって取得された画像データ g 、実際の復元テーブル $A A_s$ 、および参照光のスペクトルデータ l は、以下の式 (3) を満たす。フィルタアレイ 10 に含まれる複数のフィルタをフィルタ 1、～、フィルタ N_f 、イメージセンサ 20 に含まれる複数の画素を画素 1、～、画素 N_f とした場合、フィルタ i から出力された光 i は、画素 i に入射し、かつ、画素 1、～、画素 $(i-1)$ 、画素 $(i+1)$ 、～、画素 N_f に入射しないように、撮像装置 100 が設計されていてもよい ($1 \leq i \leq N_f$)。例えば、撮像装置 100 は、フィルタ i から出射し、画素 i に入射する光 i の光路 i と、フィルタ j から出射し、画素 j に入射する光 j の光路 j とを分離する壁を有する導光部を含んでもよい ($1 \leq j \leq N_f$, $i \neq j$)。

）。つまり、フィルタアレイ 10 に含まれる複数のフィルタとイメージセンサ 20 に含まれる複数の画素を、1対1 対応させてもよい。この場合、行列 A は対角行列である。

[0083] [数3]

$$g = A_s A I = A A_s I \quad (3)$$

[0084] 式(1)と式(3)との比較から、ずれが生じた復元テーブルを用いる場合、ハイパースペクトル画像データとして $f = A_s I$ が得られる。ハイパースペクトル画像データ f から 2次元スペクトルデータ I を除くことにより、ずれの成分 A_s を算出することができる。算出されたずれの成分 A_s を補正前の復元テーブル A に掛けることにより、補正前の復元テーブルを、実際の復元テーブル $A_s A$ に補正することができる。

[0085] [対象物の撮像]

復元テーブルを補正するキャリブレーションの例を説明する前に、図5を参照して、対象物を撮像する場合の、処理回路60の動作の例を説明する。この場合、図3に示す例において、光源70ではなく対象物が撮像装置100の前に配置される。図5は、対象物を撮像する場合の、処理回路60が実行する動作の例を示すフローチャートである。これ以降の図に示す「HS画像」はハイパースペクトル画像を表す。ユーザは、表示装置50に表示されるGUIを介して対象物の撮像を開始する信号を処理回路60に送信する。処理回路60は、当該信号を受けて以下のステップS101からS103の動作を実行する。

[0086] <ステップS101>

処理回路60は、イメージセンサ20に撮像の指令を出す。イメージセンサ20は、この指令に応答して、フィルタアレイ10を通して対象物を撮像し、その圧縮画像データを生成する。

[0087] <ステップS102>

処理回路60は、イメージセンサ20から対象物の圧縮画像データを取得

し、記憶装置40から復元テーブルを取得する。

[0088] <ステップS103>

処理回路60は、ステップS102において取得した圧縮画像データおよび復元テーブルに基づいて、対象物のハイパースペクトル画像データを式(1)および式(2)に基づいて復元する。処理回路60は、復元したハイパースペクトル画像データを記憶装置40に記憶させてもよい。

[0089] 復元されたハイパースペクトル画像データは、例えば工業製品または食品などの対象物に含まれる異物の検査、または対象物の成分の分析などの種々の目的で使用され得る。対象波長域Wに含まれるバンドの一部または全部について、分析または検査の精度が低い場合、ユーザはその原因が何であるかを検討する。検討の結果、復元テーブルとフィルタアレイ10などの光学素子の特性との間にずれが生じていることが判明すれば、ユーザは以下のようにして復元テーブルのずれを補正するキャリブレーションを実行する。

[0090] [復元テーブルのずれの補正]

記憶装置40が復元テーブルについての過去の補正データを記憶している場合、ユーザはその補正データを使用する。例えば、光学系30に含まれるレンズの交換によって復元結果に誤差が生じた場合、その原因はレンズの特性の変化であると考えられる。このため、過去に同じ種類のレンズを使っていた場合、過去の補正データを使用して復元テーブルを補正することができる。同じ種類のレンズは、例えば、レンズの焦点距離およびF値が同じである。過去の補正データとユースケースとを紐づけておけば、ユーザは、ユースケースに基づいて過去の補正データを使用することができる。ユースケースの情報は、例えば、ケースAとして「レンズの焦点距離：100mm、F値：2.4、工場のベルトコンベア1号機に設置」、ケースBとして「レンズの焦点距離：50mm、F値：1.5、工場のベルトコンベア3号機に設置」のような情報である。このように、ユースケースの情報は、レンズの焦点距離およびF値、ならびにレンズの設置場所などの、撮像システムの使用状況に関する情報を含んでいてもよい。

[0091] 記憶装置40が復元テーブルについての過去の補正データを記憶していない場合、ユーザは、図3に示すように光源70を撮像装置100の前に配置し、復元テーブルを補正するキャリブレーションを行う。

[0092] 以下に、図6を参照して、復元テーブルを補正するキャリブレーションにおける処理回路60の動作の例を説明する。図6は、キャリブレーションにおいて、処理回路60が実行する動作の例を示すフローチャートである。ユーザは、光源70に参照光を出射させた後、表示装置50に表示されるGUIを介してキャリブレーションを開始する操作を行う。この操作に応答して、キャリブレーションを開始する信号が処理回路60に送信される。処理回路60は、当該信号を受けて以下のステップS201からS206の動作を実行する。なお、処理回路60が光源70を制御できる構成においては、ユーザが光源70に参照光を出射させる操作を行う必要はない。処理回路60は、ユーザからのキャリブレーション開始の指示に応答して、光源70に参照光を出射させた後、以下のステップS201からS206の動作を実行してもよい。

[0093] <ステップS201>

処理回路60は、イメージセンサ20にフィルタアレイ10を介して参照光を検出させてその圧縮画像データを生成させる。本明細書において、当該データを「参照画像データ」と称する。光源70が面光源である場合、イメージセンサ20は、フィルタアレイ10を介して光出射面70sを撮像して参照画像データを生成する。本実施形態による撮像システム200では、参照光が複数のバンドの波長の光を含んでいる場合でも、イメージセンサ20は参照光を1回検出すれば十分である。参照光は、対象波長域に含まれるすべてのバンドの波長の光を含んでいてもよいし、対象波長域の一部のバンドの波長の光のみを含んでいてもよい。「参照光が対象波長域の一部のバンドの波長の光のみを含む」とは、「参照光は、対象波長域の一部のバンドの波長の光を含み、当該対象波長域の他のバンドの波長の光を含まない。対象波長域は一部のバンドと他のバンドからなる。」と解釈してもよい。参照光の

波長が可変である場合、復元テーブルにずれが生じている複数のバンドについて、異なるバンドの波長の参照光を複数回に分けて検出してもよい。例えば対象波長域に含まれる3つのバンドにおいて復元テーブルにずれが生じている場合、当該3つのバンドのうち、最初に2つのバンドの波長の参照光を検出し、次に残りの1つのバンドの波長の参照光を検出してもよい。この場合、検出回数は2回である。あるいは、3つのバンドのうち、バンドごとに出射された参照光を個別に検出してもよい。この場合、検出回数は3回である。このように、イメージセンサ20は、対象波長域Wに含まれる全バンドの数よりも少ない回数で参照光を検出することにより、参照画像データを生成することができる。さらに、イメージセンサ20は、補正の対象となる復元テーブルのバンドの数よりも少ない回数で参照光を検出することにより、参照画像データを生成することができる。

[0094] <ステップS202>

処理回路60は、イメージセンサ20から参照画像データを取得し、記憶装置40から復元テーブルを取得する。

[0095] <ステップS203>

処理回路60は、ステップS202において取得したデータから参照光のハイパースペクトル画像データを復元する。当該データは、参照光に含まれる少なくとも1つのバンドについての画像データにおいてゼロより大きい画素値を有し、それ以外のバンドについての画像データにおいてほぼゼロの画素値を有する。本明細書において、当該データのうち、参照光に含まれる少なくとも1つのバンドについての画像データを「参照復元画像データ」と称する。処理回路60は、参照復元画像データを記憶装置40に記憶させてもよい。

[0096] ステップS201からS203の動作は、撮像対象が検査の対象物ではなく光源70から出射された参照光であること以外は、図5に示すステップS101からS103の動作と同じである。

[0097] <ステップS204>

処理回路60は、参照光のスペクトルデータを取得する。記憶装置40が参照光のスペクトルデータを記憶している場合、処理回路60は、記憶装置40から参照光のスペクトルデータを取得する。あるいは、ユーザが外部の入力装置を用いて参照光のスペクトルデータを入力する場合、処理回路60は、当該入力装置から参照光のスペクトルデータを取得する。

[0098] <ステップS205>

処理回路60は、ステップS203において生成した参照復元画像データと、ステップS204において取得した参照光のスペクトルデータとに基づいて、復元テーブルのずれを補正する。当該補正の具体的な演算については前述した通りである。

[0099] <ステップS206>

処理回路60は、記憶装置40に記憶されている復元テーブルを、ステップS205において補正した復元テーブルに更新する。処理回路60は、補正前の復元テーブルに替えて補正後の復元テーブルを記憶装置40に新たに記憶させる。用途に応じて、補正前の復元テーブルを記憶装置40に残したまま、補正後の復元テーブルを記憶装置40に別途記憶してもよい。

[0100] 以上のようにして復元テーブルが補正される。ユーザは、補正された復元テーブルを用いて、図5に示すステップS101からS103を実行して対象物のハイパースペクトル画像データを再度生成する。復元テーブルのずれが正しく補正されれば、ハイパースペクトル画像データをより正確に生成することができる。したがって、再度生成されたハイパースペクトル画像データによって分析の精度が改善することを期待できる。分析の精度が改善しない場合、復元テーブルのずれが正しく補正されていない可能性があるので、ユーザは撮像装置100を製造元に送り返す。

[0101] 本実施形態による撮像システム200では、参照光をバンドごとに分光する必要も、参照光を拡散反射させて均一化する必要もない。したがって、本実施形態による撮像システム200は、分光素子も積分球も備える必要がなく、小型かつ安価である。さらに、本実施形態による撮像システムには、厳

格な温度管理が必要ない。本実施形態による撮像システムにより、ユーザは、実際の使用環境下で、復元テーブルを補正するキャリブレーションを簡易に行うことができる。

[0102] [記憶装置に記憶されるデータ]

次に、図7Aから図7Cを参照して、記憶装置40に記憶されるデータの例を説明する。図7Aから図7Cは、記憶装置40に記憶されるデータの例を模式的に示す図である。図7Aは、復元テーブルの一例を表す。図7Bは、光源70から出射される参照光のスペクトルデータの一例を表す。用途に応じて複数の光源を使い分ける場合、複数の光源にそれぞれ対応する複数の参照光のスペクトルデータが記憶装置40に記憶され得る。図7Cは、復元テーブルについての過去の補正データの一例を表す。複数のユースケースがある場合、複数のユースケースにそれぞれ対応する複数の過去の補正データが記憶装置40に記憶され得る。

[0103] 図7Aに示す復元テーブルは、各バンドにおける2次元的に配列された複数のフィルタの光透過率の情報を含む。図7Aに示すフィルタ1、フィルタ2などのフィルタ番号は、フィルタアレイ10に含まれる複数のフィルタの識別番号である。図7Aに示す0以上1以下の数値はフィルタごとの光透過率を表す。図7Bに示す参照光のスペクトルデータは、バンドごとのスペクトル強度の情報を含む。光源70が面光源である場合、図7Bに示すスペクトル強度の光がバンドごとに光出射面70sの全体から均一に出射される。図7Cに示す復元テーブルについての過去の補正データは、各バンドにおける複数のフィルタの光透過率の補正比率を表す。過去の補正データを用いて復元テーブルを補正する場合、図7Cに示す各補正比率が、図7Aに示す復元テーブルの対応する光透過率に乗算される。

[0104] [表示装置に表示されるGUI]

次に、図8Aおよび図8Bを参照して、表示装置50に表示されるGUIの例を説明する。図8Aは、表示装置50に表示されるGUIの第1の例を模式的に示す図である。ユーザは、目的に応じて、図8Aに示すGUIにお

ける上部左側に位置するハイパースペクトル画像の撮像用のボタンおよび上部右側に位置するキャリブレーション用のボタンのいずれかを選択する。図 8 A では、キャリブレーション用のボタンが選択された場合の G U I の例が表示されている。

[0105] 図 8 A に示す G U I は、参照光のスペクトルデータを読み込むロードボタン、およびキャリブレーションを開始するスタートボタンを含む。ユーザはロードボタンを選択して参照光のスペクトルデータを読み込む。その後、ユーザはスタートボタンを選択してキャリブレーションを開始する。図 8 A に示す G U I は、キャリブレーション後の補正データを保存するセーブボタンおよび保存した補正データを読み込むロードボタンをさらに含む。キャリブレーション後に、ユーザはセーブボタンを選択してユースケースと紐づけた上で補正データを保存する。

[0106] 記憶装置 4 0 が復元テーブルについての過去の補正データを記憶している場合、以下のようにして、過去の補正データの中から、キャリブレーションに適した補正データを読み込んでもよい。

[0107] ユーザは、これからキャリブレーションを実施する撮像システムの例えば使用状況に関する情報を G U I に入力し、ロードボタンを選択して過去の補正データを読み込む。この動作により、過去の補正データの中から、これからキャリブレーションを実施する撮像システムと使用状況が同一または類似する補正データを読み込むことができる。その後、ユーザは、スタートボタンを選択してキャリブレーションを開始する。以上により、読み込んだ補正データに基づいてキャリブレーションが行われる。

[0108] あるいは、過去の補正データに対応するユースケースを表示装置 5 0 に表示させ、表示したユースケースの中から、ユーザがキャリブレーションに適切なユースケースを選択してもよい。図 8 B は、表示装置 5 0 に表示される G U I の第 2 の例を模式的に示す図である。図 8 B に示す G U I は、撮像対象、キャリブレーションの波長、および使用レンズについてのプルダウン式のリストを含む。撮像対象のリストに含まれている「照明」および「白板」

ならびに「カラーチャート」については後述する。ユーザは、リストに含まれるユースケースの中から、これからキャリブレーションを実施する撮像システムと使用状況が同一または類似するユースケースを選択する。その後、ユーザは、スタートボタンを選択してキャリブレーションを開始する。以上により、選択したユースケースに基づいてキャリブレーションが行われる。

[0109] [撮像システムの外観形状]

次に、図9Aおよび図9Bを参照して、本実施形態による撮像システム200の外観形状の例を説明する。図9Aは、本実施形態による撮像システム200の外観形状の例を模式的に示す斜視図である。図9Bは、図9Aに示す光源70を光出射面70sの側から見たときの斜視図である。図9Aに示すように、光源70は、アタッチメントとして、矢印の方向に向けて撮像装置100の光学系30に取り付けられる。光源70は、分光素子を備える必要がないので小型のアタッチメントにすることができる。図9Bに示すように、光源70は有底円筒体の形状を有する。内側の底面が光出射面70sである。光源70を光学系30に取り付けると、光学系30は光源70の円筒部分に収まる。このような構成により、光源70の光出射面70sから出射された参照光を光学系30に効率的に入射させることができる。図9Aに示す構成において、光源70を光学系30に取り付けるだけなので、キャリブレーションのために撮像装置100を現場から移動させる必要がない。

[0110] (変形例)

上記では本開示の実施形態を例示したが、本開示は上記の実施形態に限定されず、多様な変形が可能である。以下に、図10Aおよび図10Bを参照して、本開示の実施形態の変形例1および2をそれぞれ説明する。

[0111] 図10Aは、本開示の実施形態の変形例1による撮像システムの例を模式的に示す図である。図10Aに示す撮像システム210は、撮像装置100と、光源72と、参照物体として白板74とを備える。図10Aに示す破線によって囲まれた領域は、光源72から白板74に向けて出射された光の範囲を模式的に表す。光源72から出射され、白板74で反射された光は、参

照光として光学系30に入射する。白板74の反射スペクトルは、例えば対象波長域においてほぼ平坦であり得る、または緩やかに変化し得る。図6に示すステップS201において、処理回路60は、イメージセンサ20に、フィルタアレイ10を介して当該参照光を検出させて参照画像データを生成させる。変形例1において、復元テーブルの補正に用いる参照光のスペクトルデータは、復元テーブルを補正するキャリブレーションの前に記憶装置40に記憶されていてもよい。あるいは、復元テーブルを補正するキャリブレーションの前または最中に、ユーザが、入力装置を用いて参照光のスペクトルデータを入力してもよい。変形例1において、記憶装置40に記憶されている、またはユーザが入力する参照光のスペクトルデータは、例えば、上記のキャリブレーションと同様の条件下で得られる光のスペクトルデータであり得る。参照光のスペクトルデータを記憶装置40に記憶する場合、光源72の種類および／または型番、ならびに白板74の種類に関する情報と、参照光のスペクトルデータとを紐づけて記憶してもよい。

[0112] 図10Bは、本開示の実施形態の変形例2による撮像システムの例を模式的に示す図である。図10Bに示す撮像システム220は、撮像装置100と、参照物体としてカラーチャート76とを備える。カラーチャート76は、2次元的に配列された複数の色のサンプルを含む。太陽光または照明光などの環境光がカラーチャート76で反射されて生じた光は、参照光として光学系30に入射する。図6に示すステップS201において、処理回路60は、イメージセンサ20に、フィルタアレイ10を介して当該参照光を検出させて参照画像データを生成させる。

[0113] 変形例2において、復元テーブルの補正に用いる参照光のスペクトルデータは、復元テーブルを補正するキャリブレーションの前に記憶装置40に記憶されていてもよい。あるいは、復元テーブルを補正するキャリブレーションの前または最中に、ユーザが、入力装置を用いてカラーチャート76のスペクトルデータを入力してもよい。変形例2において、記憶装置40に記憶されている、またはユーザが入力する参照光のスペクトルデータは、例えば

、上記のキャリブレーションと同様の条件下で得られる光のスペクトルデータであり得る。参照光のスペクトルデータを記憶装置40に記憶する場合、カラーチャート76の種類および／または型番と、参照光のスペクトルデータとを紐づけて記憶してもよい。

[0114] (その他1)

本開示の一態様に係る撮像システムは下記の様なものであってもよい。

[0115] 撮像システムは撮像装置を含み、

前記撮像装置は、複数の領域を含むフィルタと、イメージセンサと、第1行列を記憶するメモリと、回路を含み、

前記複数の領域は、波長域において複数の透過率特性を示し、

前記複数の透過率特性と前記複数の領域は1対1対応し、前記複数の透過率特性は互いに異なり、複数の波長帯は第1波長帯、～、第n波長帯を含み、前記nは4以上の自然数あり、

(a) 前記撮像装置のキャリブレーション実施前の期間である第1期間において、

(a-1) 前記フィルタは、第1の被写体からの光を含む第1光を受光して第2光を出力し、前記イメージセンサは前記イメージセンサに入射する前記第2光に応答して、第1画像データを含む第1画像を出力し、

(a-2) 前記回路は、前記第1行列A1、前記第1画像データに基づいて、複数の第2画像データを生成し、前記複数の波長帯と前記複数の第2画像データは1対1対応し、

$$g_1 = A_1 f_2 = A_1 (f_{21} \cdots f_{2n})^T,$$

前記g1は前記第1画像データに含まれる複数の画素値が複数の成分である列ベクトルを示し、

前記A1は前記第1行列を示し、

前記f21、～、前記f2nは、前記複数の第2画像データを示す複数の列ベクトル、

(b) 前記キャリブレーションが実施される第2期間において、

(b-1) 前記フィルタは、光源からの第3光を受光して第4光を出力し、前記イメージセンサは前記イメージセンサに入射する前記第4光に応答して、第3画像データを含む第3画像を出力し、

(b-2) 前記回路は、前記第1行列、前記第3画像データ、第4データに基づいて、第2行列を決定し、

前記第2行列は対角行列であり、

$$g_3 = A_2 A_1 f_4,$$

前記 g_3 は前記第3画像データに含まれる複数の画素値を示す列ベクトル、

前記 A_2 は前記第2行列を示し、

前記 f_4 は前記第4データを示し、

(c) 前記キャリブレーションの実施後である第3期間において、

(c-1) 前記フィルタは、第2の被写体からの光を含む第5光を受光して第6光を出力し、前記イメージセンサは前記イメージセンサに入射する前記第6光に応答して、第5画像データを含む第5画像を出力し、

(c-2) 前記回路は、前記第1行列、前記第2行列、前記第5画像データに基づいて、複数の第6画像データを生成し、前記複数の第1波長と前記複数の第6画像データは1対1対応し、

$$g_5 = A_2 A_1 f_6 = A_2 A_1 (f_{61} \cdots f_{6n})^T,$$

前記 g_5 は前記第5画像データに含まれる複数の画素値が複数の成分である列ベクトルを示し、

前記 f_{61} 、～、前記 f_{6n} は、前記複数の第6画像データを示す複数の列ベクトル、

前記第1光は第1波長帯の光、～、第 n 波長帯の光を含み、

前記第5光は第1波長帯の光、～、第 n 波長帯の光を含み、

前記第3光は前記第 i 波長帯の光を含み、

前記第3光は前記第1波長帯の光、～、前記第 $(i-1)$ 波長帯の光を含まず、

前記第3光は前記第 $(i+1)$ 波長帯の光、～、前記第 n 波長帯の光を含まず、

前記 $f_4 = (f_{41} \cdots f_{4n})^T$ 、

$f_{41} = (0 \cdots 0)$ 、～、 $f_{4i-1} = (0 \cdots 0)$ 、 $f_{4i} = (p \cdots p)$ 、 $f_{4i+1} = (0 \cdots 0)$ 、～、 $f_{4n} = (0 \cdots 0)$ 、

前記 p は前記第3光に含まれる前記第 i 波長帯の光の強度に対応し、

前記前記 i は自然数、 $1 \leq i \leq n$ である、撮像システム。撮像システム200を参照しつつ、上記した撮像システムを以下に説明する。

[0116] 撮像装置100をキャリブレーションする前の期間を第1期間、撮像装置100のキャリブレーション中の期間を第2期間、撮像装置100をキャリブレーションした後の期間を第3期間とする。

[0117] 対象波長域 W は、複数の波長帯を含む。複数の波長帯は、第1波長帯、～、第 n 波長帯である。第 i 波長帯と第 j 波長帯は同じ波長を含まない($1 \leq i < j \leq n$)。フィルタアレイ10は複数の領域を含む。複数の領域は、対象波長域 W において複数の透過率特性を示す。複数の透過率特性は互いに異なる。複数の領域と複数の透過率特性は1対1対応する。

[0118] n は4以上の自然数ある。以下の説明では、例として、 $n=4$ とする。対象波長域 W に含まれる複数の波長帯を波長帯 W_1 、波長帯 W_2 、波長帯 W_3 、波長帯 W_4 とする。イメージセンサ20は圧縮画像を出力する。以下の説明では、圧縮画像の画素数 N_g を、 $2 \times 3 = 6$ とする。画素数 N_g は6以上であってもよい。

[0119] <第1期間の動作>

フィルタアレイ10は第1の被写体からの光を含む第1光を受光して第2光を出力する。第1光は第1波長帯の光、～、第4波長帯の光を含む。

[0120] イメージセンサ20は、第2光を受光して、第1画像データ g_1 を含む第1画像を処理回路50へ出力する。

[0121] 図11Aは第1画像と行列形式で表現された画像データ g_1 を示す。第1画像は、画素値 $g_1(1, 1)$ を示す座標 $(1, 1)$ に位置する画素、～、

画素値 $g_1(2, 3)$ を示す座標 $(2, 3)$ に位置する画素を含む。第 1 画像に対応する画像データ g_1 は、画素値 $g_1(1, 1)$ 、～、画素値 $g_1(2, 3)$ を含む。

[0122] 処理回路 50 は、第 1 画像データ g_1 と記憶装置 40 に記憶された第 1 行列 A_1 に基づいて、対象波長域 W が含む複数の波長帯に対応する複数の第 2 画像データを生成する。

[0123] 複数の波長帯は波長帯 W_1 、波長帯 W_2 、波長帯 W_3 、波長帯 W_4 、複数の第 2 画像データは画像データ f_{21} 、画像データ f_{22} 、画像データ f_{23} 、画像データ f_{24} である。

[0124] 第 1 画像は、波長帯 W_1 に対応する画像 l_{m21} 、波長帯 W_2 に対応する画像 l_{m22} 、波長帯 W_3 に対応する画像 l_{m23} 、波長帯 W_4 に対応する画像 l_{m24} が重畳された画像と考えてもよい（図 1B など参照）。

[0125] 画像データ f_{21} は画像 l_{m21} に対応し、画像データ f_{22} は画像 l_{m22} に対応し、画像データ f_{23} は画像 l_{m23} に対応し、画像データ f_{24} は画像 l_{m24} に対応する。

[0126] 式 (1) は、第 1 画像に含まれる第 1 画像データ g_1 、ハイパースペクトル画像データ f_2 を用いて、 $g_1 = A_1 f_2$ と表現できる。フィルタアレイ 10 が含む複数のフィルタとイメージセンサ 20 が含む複数の画素が 1 対 1 に対応してもよい。この場合、 A_1 は対角行列である。

[0127] [数 4]

$$f_2 = \begin{pmatrix} f_{21} \\ f_{22} \\ f_{23} \\ f_{24} \end{pmatrix}$$

[0128]

[数5]

$$g1 = \begin{pmatrix} g1(1,1) \\ g1(1,2) \\ g1(1,3) \\ g1(2,1) \\ g1(2,2) \\ g1(2,3) \end{pmatrix} = A1 \begin{pmatrix} f21 \\ f22 \\ f23 \\ f24 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} a_{11} & \cdots & a_{124} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ a_{61} & \cdots & a_{624} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} f21(1,1) \\ f21(1,2) \\ f21(1,3) \\ f21(2,1) \\ f21(2,2) \\ f21(2,3) \\ f22(1,1) \\ \vdots \\ f23(2,3) \\ f24(1,1) \\ f24(1,2) \\ f24(1,3) \\ f24(2,1) \\ f24(2,2) \\ f24(2,3) \end{pmatrix}$$

[0129] 図11Bは画像1m21と行列形式で表現された画像データf21を示す。画像1m21は、画素値f21(1,1)を示す座標(1,1)に位置する画素、～、画素値f21(2,3)を示す座標(2,3)に位置する画素を含む。画像1m21に対応する画像データf21は、画素値f21(1,1)、～、画素値f21(2,3)を含む。

[0130] 図11Cは画像1m22と行列形式で表現された画像データf22を示す。画像1m22は、画素値f22(1,1)を示す座標(1,1)に位置する画素、～、画素値f22(2,3)を示す座標(2,3)に位置する画素を含む。画像1m22に対応する画像データf22は、画素値f22(1,1)、～、画素値f22(2,3)を含む。

[0131] 図11Dは画像1m23と行列形式で表現された画像データf23を示す。画像1m23は、画素値f23(1,1)を示す座標(1,1)に位置する画素、～、画素値f23(2,3)を示す座標(2,3)に位置する画素を含む。画像1m23に対応する画像データf23は、画素値f23(1,1)、～、画素値f23(2,3)を含む。

[0132] 図11Eは画像1m24と行列形式で表現された画像データf24を示す

。画像 Im_{24} は、画素値 $f_{24}(1, 1)$ を示す座標 $(1, 1)$ に位置する画素、～、画素値 $f_{24}(2, 3)$ を示す座標 $(2, 3)$ に位置する画素を含む。画像 Im_{24} に対応する画像データ f_{24} は、画素値 $f_{24}(1, 1)$ 、～、画素値 $f_{24}(2, 3)$ を含む。

[0133] <第2期間の動作>

フィルタアレイ 10 は光源 70 から放射された第3光を受光して第4光を出力する。第3光は実施形態で説明した参照光であってもよい（図4A、図4Bなど参照）。図12は第3光のスペクトルデータを示す。第3光は、波長帯 W_1 の光を含み、波長帯 W_2 の光を含まず、波長帯 W_3 の光を含まず、波長帯 W_4 の光を含まない。

[0134] イメージセンサ 20 は、第3光を受光して、第3画像データ g_3 を含む第3画像を処理回路 50 へ出力する。

[0135] 図13Aは第3画像と行列形式で表現された画像データ g_3 を示す。第3画像は、画素値 $g_3(1, 1)$ を示す座標 $(1, 1)$ に位置する画素、～、画素値 $g_3(2, 3)$ を示す座標 $(2, 3)$ に位置する画素を含む。第3画像に対応する画像データ g_3 は、画素値 $g_3(1, 1)$ 、～、画素値 $g_3(2, 3)$ を含む。

[0136] 処理回路 50 は、第1行列 A_1 、第3画像データ g_3 、第4データ l に基づいて、第2行列 A_s を決定する。処理回路 50 は、第2行列 A_s を記憶装置 40 に記憶させる。

[0137] 第3画像は、波長帯 W_1 に対応する画像 Im_{41} 、波長帯 W_2 に対応する画像 Im_{42} 、波長帯 W_3 に対応する画像 Im_{43} 、波長帯 W_4 に対応する画像 Im_{44} が重畳された画像と考えるてもよい（図1Bなど参照）。

[0138] 複数の波長帯は波長帯 W_1 、波長帯 W_2 、波長帯 W_3 、波長帯 W_4 、複数の第4画像データは画像データ f_{41} 、画像データ f_{42} 、画像データ f_{43} 、画像データ f_{44} である。

[0139] 式(1)は、第3画像に含まれる第3画像データ g_3 、ハイパースペクトル画像データ f_4 を用いて、 $g_3 = A_s A_1 f_4$ と表現できる。 A_s は対角

行列で、 $A \cdot A^{-1} \cdot f_4 = A^{-1} \cdot A \cdot f_4$ である。

[0140] [数6]

$$f_4 = \begin{pmatrix} f_{41} \\ f_{42} \\ f_{43} \\ f_{44} \end{pmatrix}$$

[0141] [数7]

$$g_3 = \begin{pmatrix} g_{3(1,1)} \\ g_{3(1,2)} \\ g_{3(1,3)} \\ g_{3(2,1)} \\ g_{3(2,2)} \\ g_{3(2,3)} \end{pmatrix} = A \cdot A^{-1} \cdot \begin{pmatrix} f_{41} \\ f_{42} \\ f_{43} \\ f_{44} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \alpha_{11} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \alpha_{22} & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \alpha_{33} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \alpha_{44} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & \alpha_{55} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \alpha_{66} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} a_{11} & \cdots & a_{124} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ a_{61} & \cdots & a_{624} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} p_1 \\ p_1 \\ p_1 \\ p_1 \\ p_1 \\ p_1 \\ 0 \\ \vdots \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix}$$

[0142] 図13Bは画像Im41と行列形式で表現された画像データf41を示す。画像Im41は、画素値f41(1, 1)を示す座標(1, 1)に位置する画素、～、画素値f41(2, 3)を示す座標(2, 3)に位置する画素を含む。画像Im41に対応する画像データf41は、画素値f41(1, 1)、～、画素値f41(2, 3)を含む。第3光は図12に示す様なスペクトルデータを示すので、画像Im41に含まれる全ての画素の画素値は同じ値、例えばpとなる(pは0以上の値)。

[0143] 図13Cは画像Im42と行列形式で表現された画像データf42を示す。画像Im42は、画素値f42(1, 1)を示す座標(1, 1)に位置する画素、～、画素値f42(2, 3)を示す座標(2, 3)に位置する画素を含む。画像Im42に対応する画像データf42は、画素値f42(1, 1)、～、画素値f42(2, 3)を含む。第3光は図12に示す様なスペクトルデータを示すので、画像Im42に含まれる全ての画素の画素値はゼ

口となる。

[0144] 図13Dは画像Im43と行列形式で表現された画像データf43を示す。画像Im43は、画素値f43(1, 1)を示す座標(1, 1)に位置する画素、～、画素値f43(2, 3)を示す座標(2, 3)に位置する画素を含む。画像Im43に対応する画像データf43は、画素値f43(1, 1)、～、画素値f43(2, 3)を含む。第3光は図12に示す様なスペクトルデータを示すので、画像Im43に含まれる全ての画素の画素値はゼロとなる。

[0145] 図13Eは画像Im44と行列形式で表現された画像データf44を示す。画像Im44は、画素値f44(1, 1)を示す座標(1, 1)に位置する画素、～、画素値f44(2, 3)を示す座標(2, 3)に位置する画素を含む。画像Im44に対応する画像データf44は、画素値f44(1, 1)、～、画素値f44(2, 3)を含む。第3光は図12に示す様なスペクトルデータを示すので、画像Im44に含まれる全ての画素の画素値はゼロとなる。

[0146] <第3期間の動作>

フィルタアレイ10は第2の被写体からの光を含む第5光を受光して第6光を出力する。第5光は第1波長帯の光、～、第4波長帯の光を含む。第2の被写体は第1の被写体であってもよい。

[0147] イメージセンサ20は、第6光を受光して、第5画像データg5を含む第5画像を処理回路50へ出力する。

[0148] 図14Aは第5画像と行列形式で表現された画像データg5を示す。第5画像は、画素値g5(1, 1)を示す座標(1, 1)に位置する画素、～、画素値g5(2, 3)を示す座標(2, 3)に位置する画素を含む。第5画像に対応する画像データg5は、画素値g5(1, 1)、～、画素値g5(2, 3)を含む。

[0149] 処理回路50は、第5画像データg5と記憶装置40に記憶された第1行列A1、第2行列Asに基づいて、対象波長域Wが含む複数の波長帯に対応

する複数の第6画像データを生成する。

[0150] 複数の波長帯は波長帯 W_1 、波長帯 W_2 、波長帯 W_3 、波長帯 W_4 、複数の第6画像データは画像データ f_{61} 、画像データ f_{62} 、画像データ f_{63} 、画像データ f_{64} である。

[0151] 第5画像は、波長帯 W_1 に対応する画像 l_{m61} 、波長帯 W_2 に対応する画像 l_{m62} 、波長帯 W_3 に対応する画像 l_{m63} 、波長帯 W_4 に対応する画像 l_{m64} が重畳された画像と考えてもよい（図1Bなど参照）。

[0152] 画像データ f_{61} は画像 l_{m61} に対応し、画像データ f_{62} は画像 l_{m62} に対応し、画像データ f_{63} は画像 l_{m63} に対応し、画像データ f_{64} は画像 l_{m64} に対応する。

[0153] 式(1)は、第5画像に含まれる第5画像データ g_5 、ハイパースペクトル画像データ f_6 を用いて、 $g_5 = A_s A_1 f_6 = A_1 A_s f_6$ と表現できる。

[0154] [数8]

$$f_6 = \begin{pmatrix} f_{61} \\ f_{62} \\ f_{63} \\ f_{64} \end{pmatrix}$$

[0155] [数9]

$$g_5 = \begin{pmatrix} g_{5(1,1)} \\ g_{5(1,2)} \\ g_{5(1,3)} \\ g_{5(2,1)} \\ g_{5(2,2)} \\ g_{5(2,3)} \end{pmatrix} = A_s A_1 \begin{pmatrix} f_{61} \\ f_{62} \\ f_{63} \\ f_{64} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \alpha_{11} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \alpha_{22} & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \alpha_{33} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \alpha_{44} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & \alpha_{55} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \alpha_{66} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} a_{11} & \cdots & a_{124} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ a_{61} & \cdots & a_{624} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} f_{61(1,1)} \\ f_{61(1,2)} \\ f_{61(1,3)} \\ f_{61(2,1)} \\ f_{61(2,2)} \\ f_{61(2,3)} \\ f_{62(1,1)} \\ \vdots \\ f_{63(2,3)} \\ f_{64(1,1)} \\ f_{64(1,2)} \\ f_{64(1,3)} \\ f_{64(2,1)} \\ f_{64(2,2)} \\ f_{64(2,3)} \end{pmatrix}$$

[0156] 図14Bは画像 l_{m61} と行列形式で表現された画像データ f_{61} を示す

。画像 $Im61$ は、画素値 $f61(1, 1)$ を示す座標 $(1, 1)$ に位置する画素、～、画素値 $f61(2, 3)$ を示す座標 $(2, 3)$ に位置する画素を含む。画像 $Im61$ に対応する画像データ $f61$ は、画素値 $f61(1, 1)$ 、～、画素値 $f61(2, 3)$ を含む。

[0157] 図 14C は画像 $Im62$ と行列形式で表現された画像データ $f62$ を示す。画像 $Im62$ は、画素値 $f62(1, 1)$ を示す座標 $(1, 1)$ に位置する画素、～、画素値 $f62(2, 3)$ を示す座標 $(2, 3)$ に位置する画素を含む。画像 $Im62$ に対応する画像データ $f62$ は、画素値 $f62(1, 1)$ 、～、画素値 $f62(2, 3)$ を含む。

[0158] 図 14D は画像 $Im63$ と行列形式で表現された画像データ $f63$ を示す。画像 $Im63$ は、画素値 $f63(1, 1)$ を示す座標 $(1, 1)$ に位置する画素、～、画素値 $f63(2, 3)$ を示す座標 $(2, 3)$ に位置する画素を含む。画像 $Im63$ に対応する画像データ $f63$ は、画素値 $f63(1, 1)$ 、～、画素値 $f63(2, 3)$ を含む。

[0159] 図 14E は画像 $Im64$ と行列形式で表現された画像データ $f64$ を示す。画像 $Im64$ は、画素値 $f64(1, 1)$ を示す座標 $(1, 1)$ に位置する画素、～、画素値 $f64(2, 3)$ を示す座標 $(2, 3)$ に位置する画素を含む。画像 $Im64$ に対応する画像データ $f64$ は、画素値 $f64(1, 1)$ 、～、画素値 $f64(2, 3)$ を含む。

[0160] (その他 2)

本開示の趣旨を逸脱しない限り、当業者が思いつく各種変形を各実施の形態に施したものや、異なる実施の形態における構成要素を組み合わせて構築される形態も、本開示の一つまたは複数の態様の範囲内に含まれてもよい。

産業上の利用可能性

[0161] 本開示における撮像システムは、圧縮センシングの技術を用いる撮像装置のキャリブレーションに応用することができる。

符号の説明

[0162] 10 フィルタアレイ

1 0 s	光入射面
2 0	イメージセンサ
2 0 s	光検出面
3 0	光学系
4 0	記憶装置
5 0	表示装置
6 0	処理装置
6 2	メモリ
7 0	光源
7 0 s	光出射面
1 0 0	撮像装置
2 0 0	撮像システム

請求の範囲

[請求項1]

圧縮センシングの技術を用いる撮像システムであって、
透過スペクトルが互いに異なる複数種類のフィルタを含むフィルタアレイと、
前記フィルタアレイを通過する光に基づく画像データを生成するイメージセンサと、
前記複数種類のフィルタの前記透過スペクトルの空間分布に基づいて決定される復元テーブル、および前記画像データに基づいて、対象波長域に含まれる4つ以上のバンドに対応する画像を含むハイパースペクトル画像データを生成する処理回路と、
前記復元テーブルを補正するキャリブレーションに用いられる、前記4つ以上のバンドのうちの少なくとも1つのバンドの波長を有する参照光を出射する光源と、
を備え、
前記処理回路は、前記イメージセンサが前記参照光を検出することによって生成した参照画像データに基づいて、前記復元テーブルを補正する、
撮像システム。

[請求項2]

前記参照光のスペクトルデータを記憶する記憶装置をさらに備え、
前記処理回路は、
前記復元テーブルおよび前記参照画像データに基づいて、参照復元画像データを生成し、
前記記憶装置に記憶された前記スペクトルデータと前記参照復元画像データとに基づいて前記復元テーブルを補正する、
請求項1に記載の撮像システム。

[請求項3]

前記処理回路は、補正された前記復元テーブルを前記記憶装置に記憶させる、
請求項2に記載の撮像システム。

- [請求項4] 前記処理回路は、補正前における前記撮像システムの使用状況に関する情報を、補正された前記復元テーブルと対応付けて前記記憶装置に記憶させる、
請求項1から3のいずれかに記載の撮像システム。
- [請求項5] 前記参照光は、前記4つ以上のバンドのうちの少なくとも2つのバンドの波長を有する、請求項1から4のいずれかに記載の撮像システム。
- [請求項6] 前記参照光は、前記4つ以上のバンドのすべての波長を有する、請求項1から5のいずれかに記載の撮像システム。
- [請求項7] 前記参照画像データは複数の画素のデータを含み、
前記複数の画素の各々のデータは、前記参照光が有する2つ以上のバンドの波長に対応する情報を含む、
請求項5または6に記載の撮像システム。
- [請求項8] 前記キャリブレーションにおいて、前記イメージセンサは、前記対象波長域に含まれる前記バンドの数よりも少ない回数で前記参照光を検出することにより、前記参照画像データを生成する、
請求項1から7のいずれかに記載の撮像システム。
- [請求項9] 前記光源は光出射面を有する面光源であり、
前記イメージセンサは、前記フィルタアレイを介して前記光出射面を撮像することにより、前記参照画像データを生成する、
請求項1から8のいずれかに記載の撮像システム。
- [請求項10] 前記処理回路は、前記キャリブレーションの開始をユーザが指示するためのGUIを表示装置に表示させる、
請求項1から9のいずれかに記載の撮像システム。
- [請求項11] 前記処理回路は、前記キャリブレーション前における前記撮像システムの使用状況に関する情報を入力するためのGUIを表示装置に表示させる、
請求項10に記載の撮像システム。

- [請求項12] 前記参照画像データは、前記光源から参照物体に向けて出射され、前記参照物体で反射された前記参照光を前記イメージセンサが検出することによって生成される、
請求項1から11のいずれかに記載の撮像システム。
- [請求項13] 前記復元テーブルの前記補正は、前記復元テーブルに含まれる、前記透過スペクトルに対応する要素のずれを補正することを含む、
請求項1から12に記載の撮像システム。
- [請求項14] 圧縮センシングの技術を用いる撮像システムであって、
透過スペクトルが互いに異なる複数種類のフィルタを含むフィルタアレイと、
前記フィルタアレイを介した撮像により、画像データを生成するイメージセンサと、
前記複数種類のフィルタの前記透過スペクトルの空間分布に基づいて決定される復元テーブル、および前記画像データに基づいて、対象波長域に含まれる4つ以上のバンドに対応する画像を含むハイパースペクトル画像データを生成する処理回路と、
参照物体についてのスペクトルデータを記憶する記憶装置と、
を備え、
前記処理回路は、前記記憶装置に前記スペクトルデータが記憶されている前記参照物体を撮像することにより生成された参照画像データに基づいて、前記復元テーブルを補正する、
撮像システム。
- [請求項15] コンピュータによって実行される、圧縮センシングの技術に関連するデータを処理する方法であって、
透過スペクトルが互いに異なる複数種類のフィルタを含むフィルタアレイを通過する光に基づいて画像データを生成するイメージセンサが、対象波長域に含まれる4つ以上のバンドのうち、少なくとも1つのバンドの波長を有する参照光を検出することによって生成した参照

画像データを取得することと、

前記複数種類のフィルタの前記透過スペクトルの空間分布に基づいて決定される復元テーブルを取得することと、

前記参照画像データに基づいて前記復元テーブルを補正することと、

を含む、

方法。

[請求項16]

前記参照光のスペクトルデータを取得することと、

前記復元テーブルおよび前記参照画像データに基づいて、参照復元画像データを生成することと、

前記スペクトルデータと前記参照復元画像データとに基づいて前記復元テーブルを補正することと、

をさらに含む、

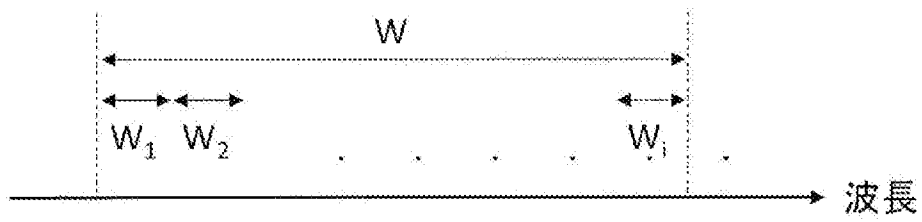
請求項15に記載の方法。

[請求項17]

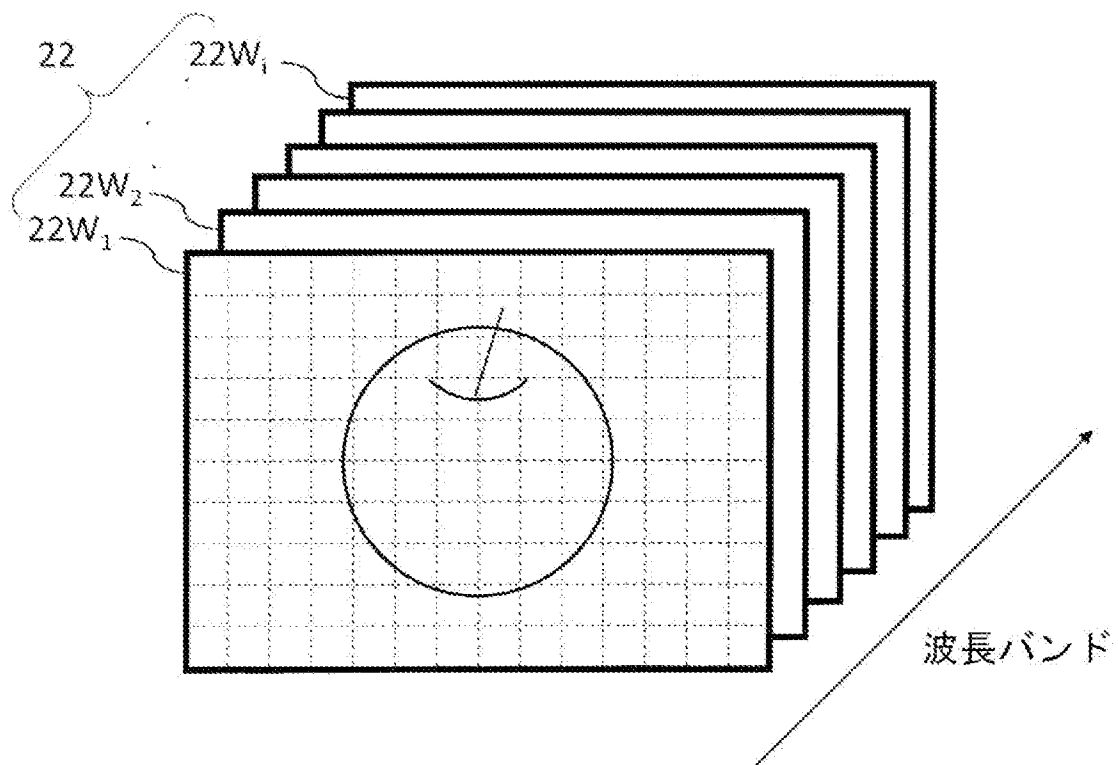
補正された前記復元テーブルを記憶装置に記憶させることをさらに含む、

請求項16に記載の方法。

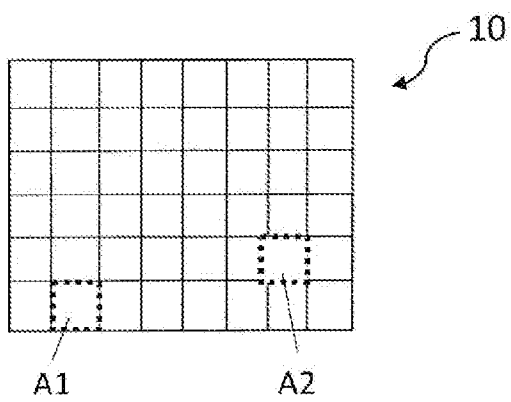
[図1A]



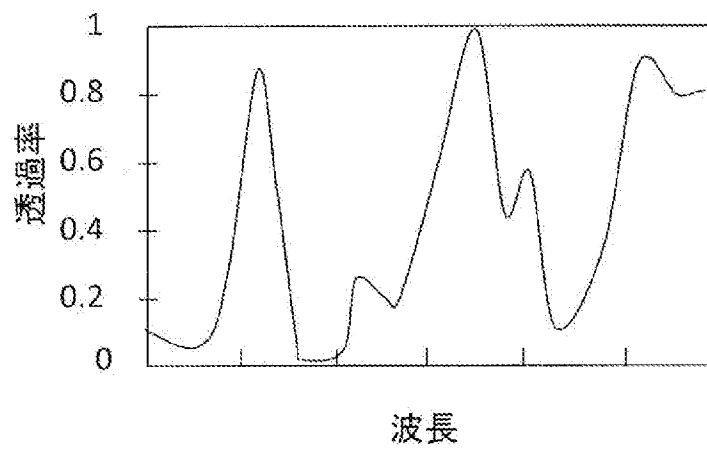
[図1B]



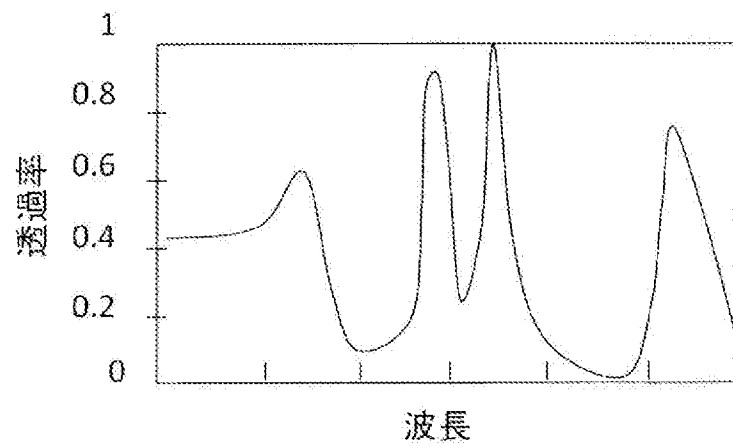
[図2A]



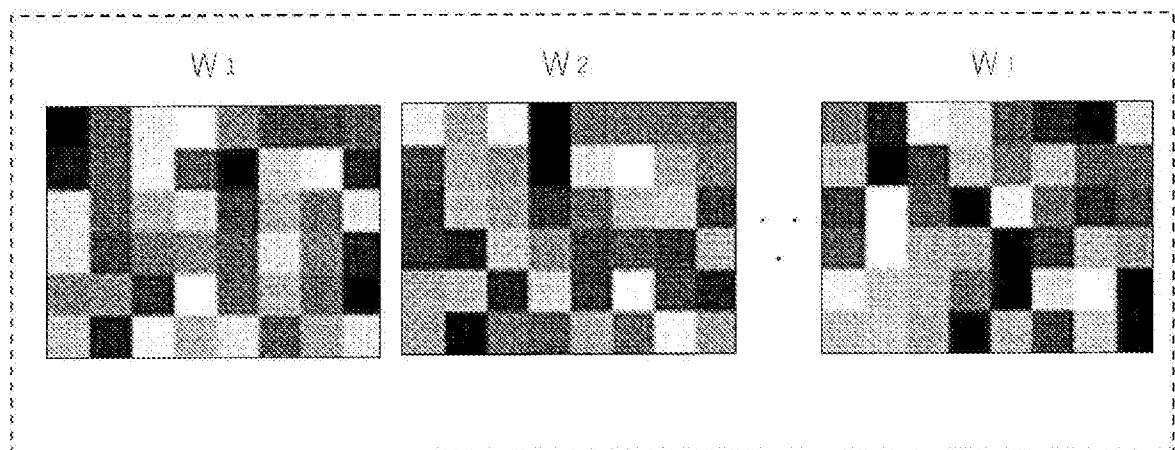
[図2B]

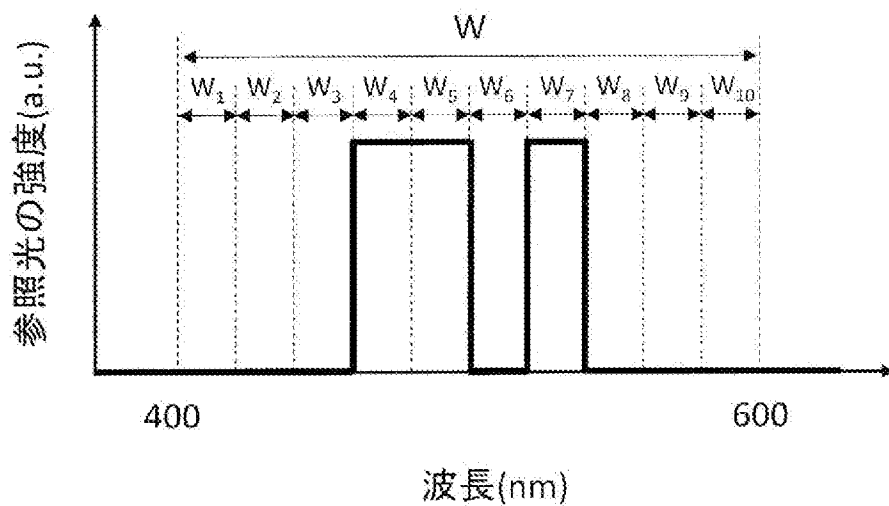
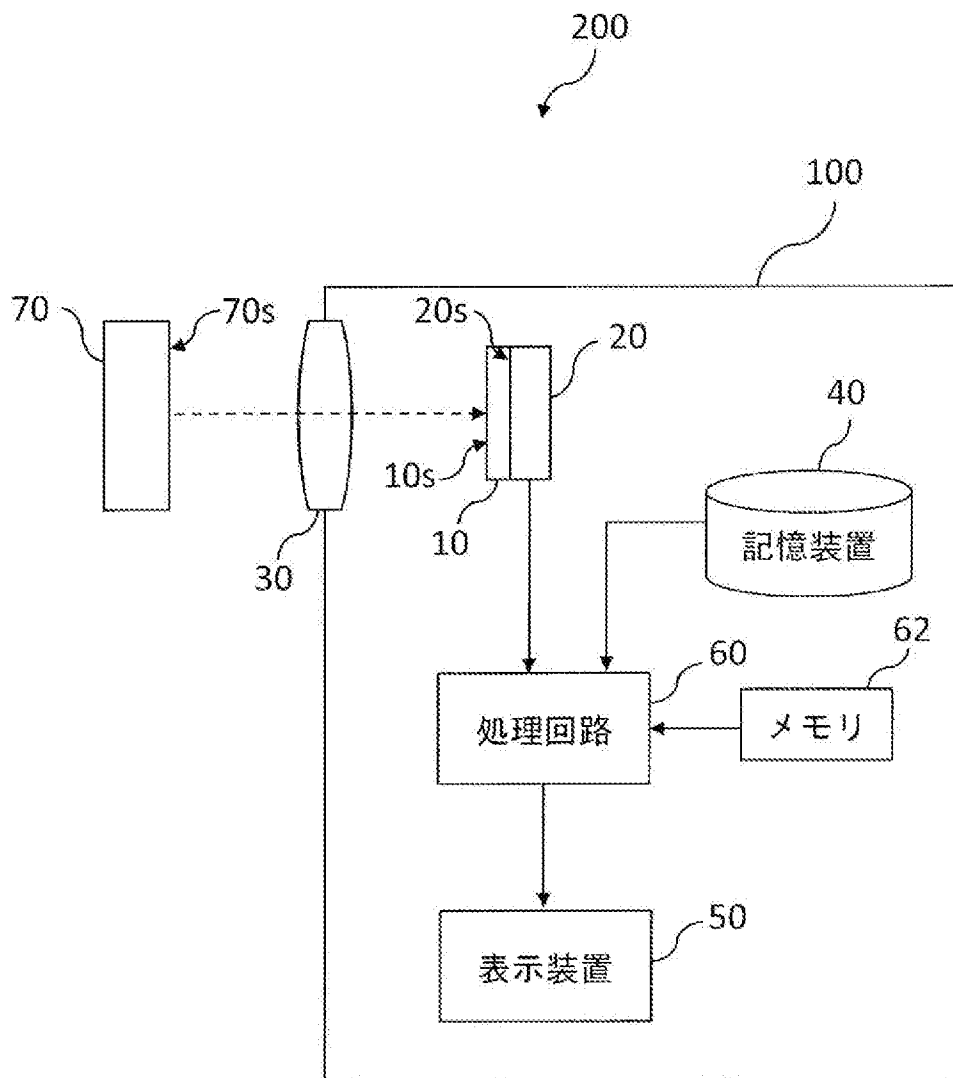


[図2C]

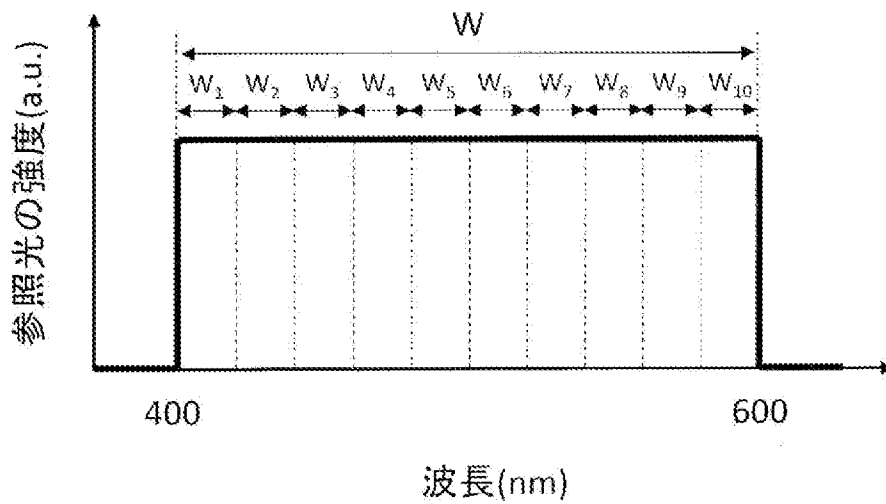


[図2D]

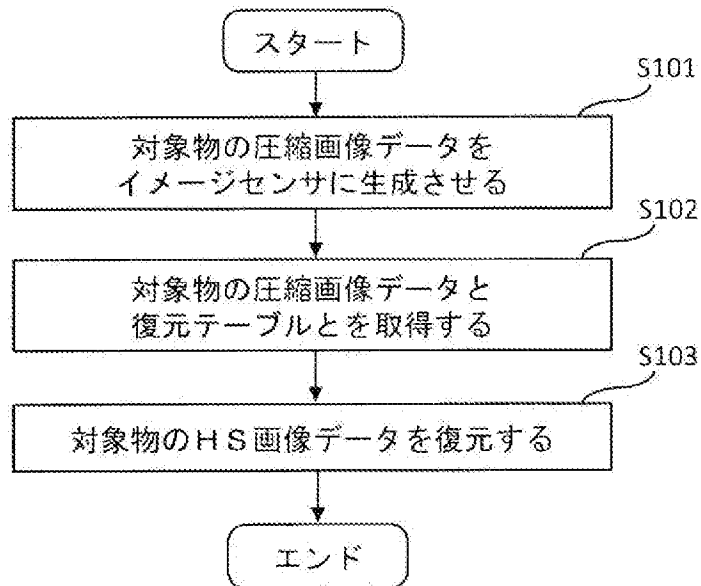




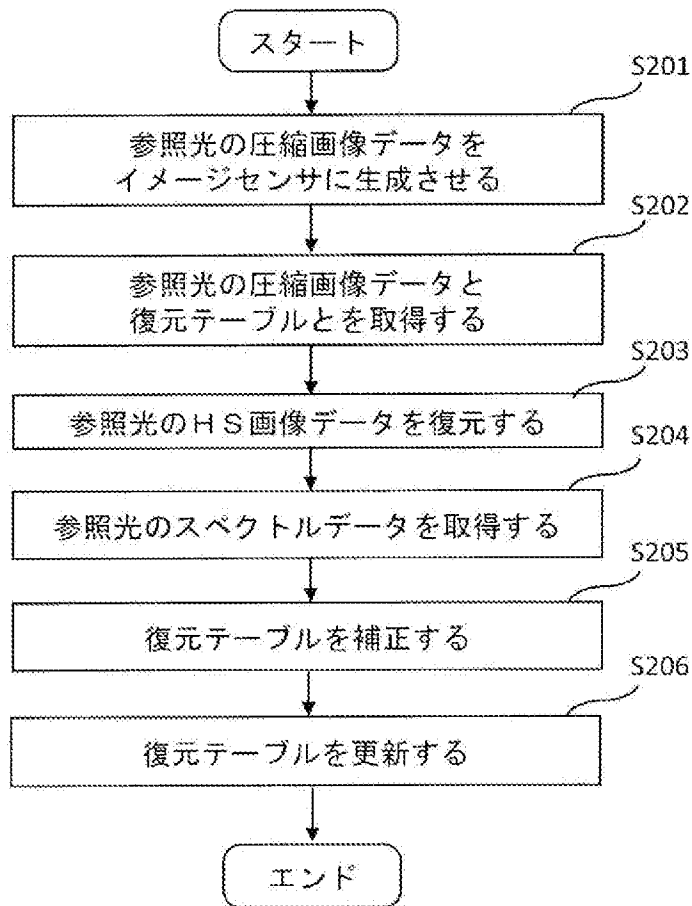
[図4B]



[図5]



[図6]



[図7A]

	波長	フィルタ1	フィルタ2	フィルタ3	フィルタ4	フィルタ5	フィルタ6	
バンド1	400-450	0.4	0.5	0.2	0.7	0.5	0.6	...
バンド2	450-500	0.3	0.6	0.9	0.5	0.8	0.4	...
バンド3	500-550	0.4	0.8	0.2	0.8	0.7	0.3	...
バンド4	550-600	0.5	0.7	0.2	0.3	0.4	0.5	...
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	

[図7B]

	波長	スペクトル強度
バンド1	400-450	0.8
バンド2	450-500	0.7
バンド3	500-550	0.9
バンド4	550-600	0.8
⋮	⋮	⋮

[図7C]

	波長	フィルタ1	フィルタ2	フィルタ3	フィルタ4	フィルタ5	フィルタ6	
バンド1	400-450	0.99	1.1	1	0.98	1.03	0.95	...
バンド2	450-500	1.02	1.07	1.04	0.94	0.88	1	...
バンド3	500-550	0.93	0.99	1.05	0.84	1	1.02	...
バンド4	550-600	0.97	0.94	1.02	1.08	1.04	0.99	...
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	

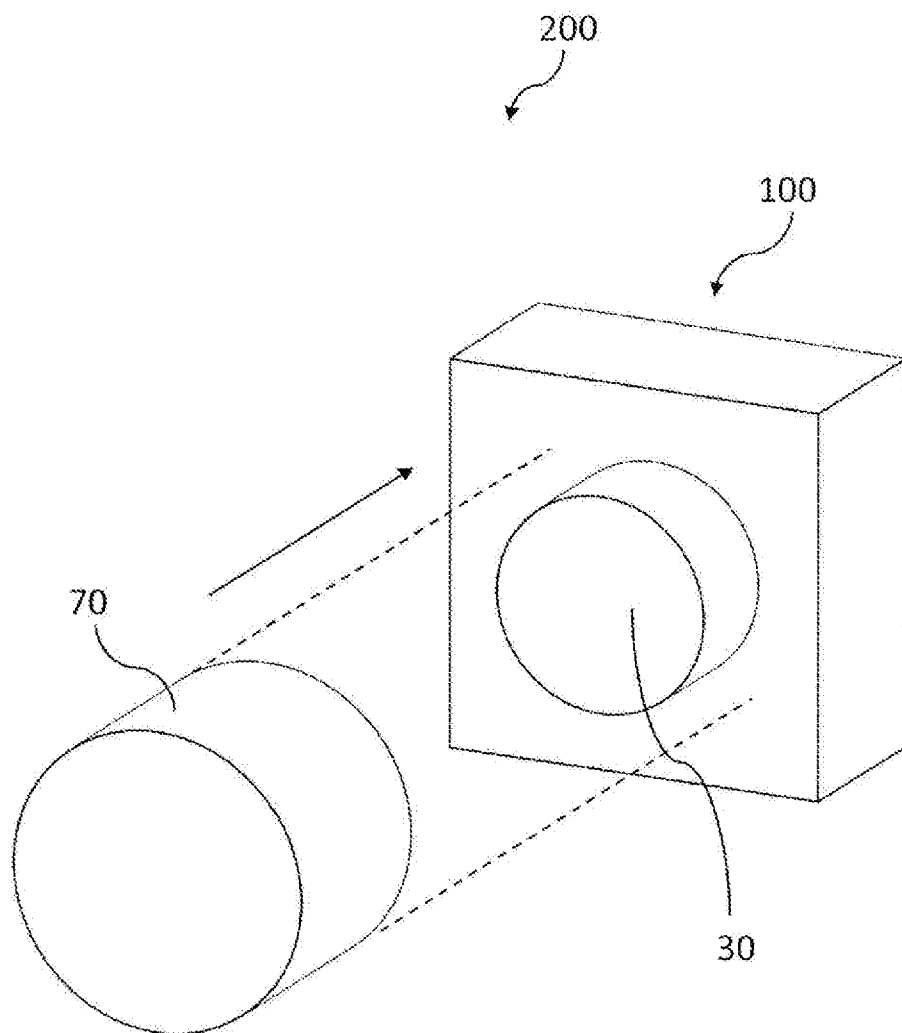
[図8A]

撮影	キャリブレーション
参照光のスペクトルデータの読み込み Load	
キャリブレーション開始 Start	
キャリブレーション後の補正データの 保存および読み込み Save Load	
ユースケース	焦点距離: 100mm、F値: 2.4、...

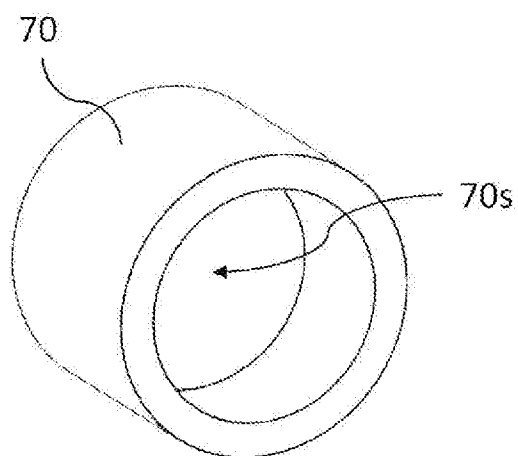
[図8B]

撮影	キャリブレーション
撮影対象 参照光(照明型番xxx) ▼ 照明(型番xxx)、白板(型番xx) カラーチャート(型番xx) 参照光(照明型番yyy)	キャリブレーションの波長 450-650nm ▼ 500-600nm 400-500nm+600-700nm
使用レンズ 単焦点レンズ(f16,F4) ▼ テレセントリックレンズ(f32) 単焦点レンズ(f50,F8)	Load

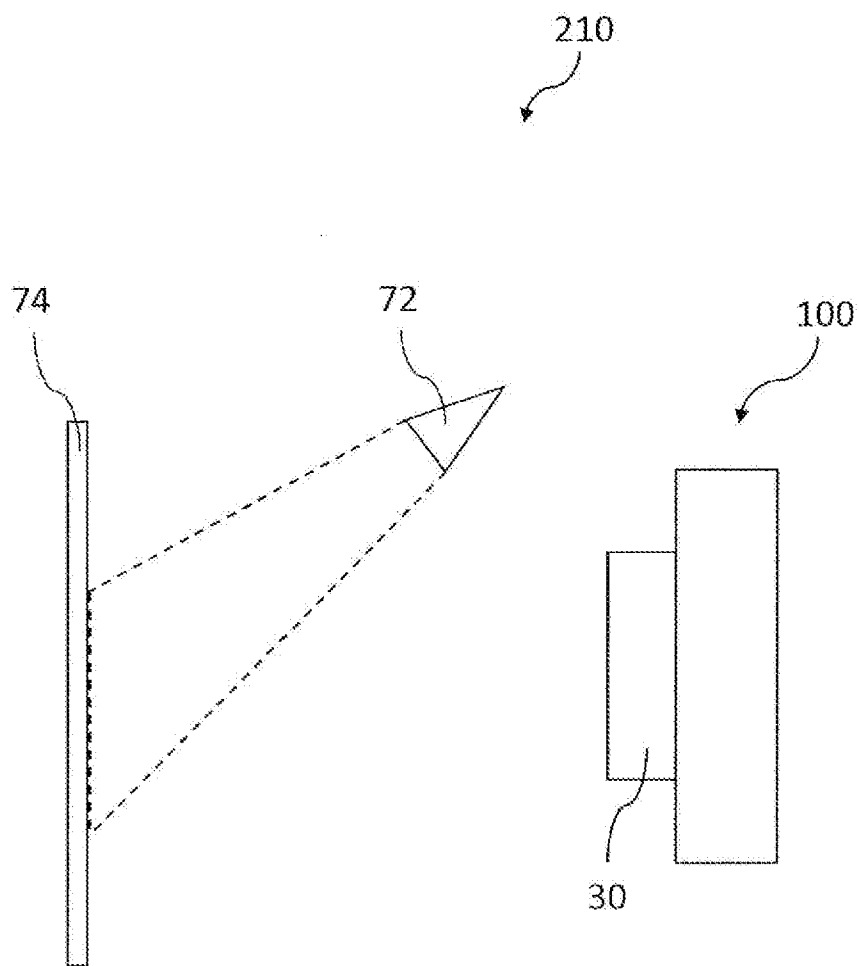
[図9A]



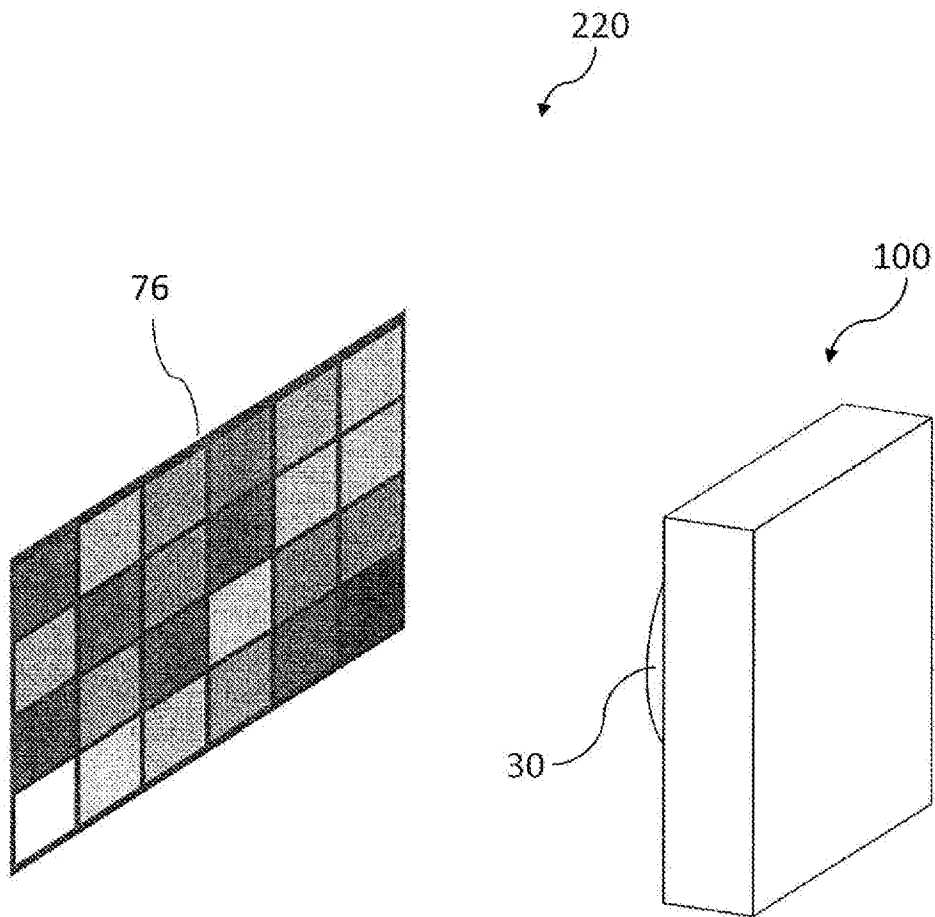
[図9B]



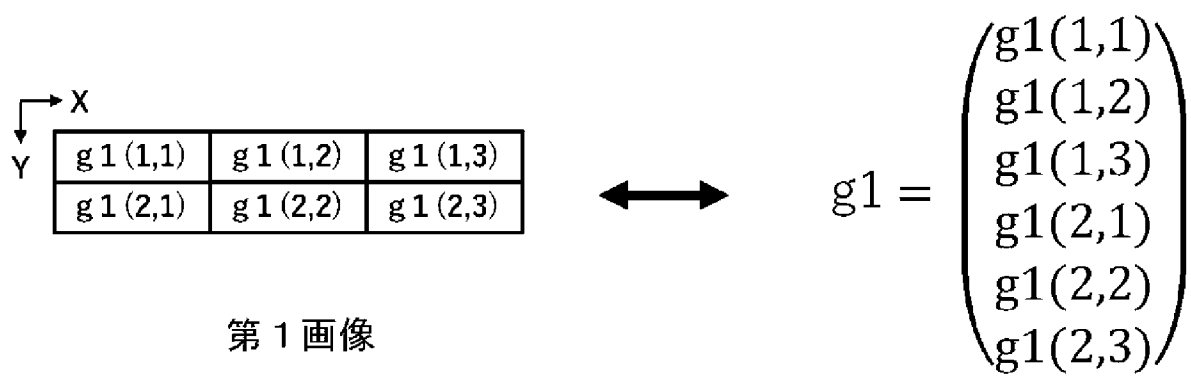
[図10A]



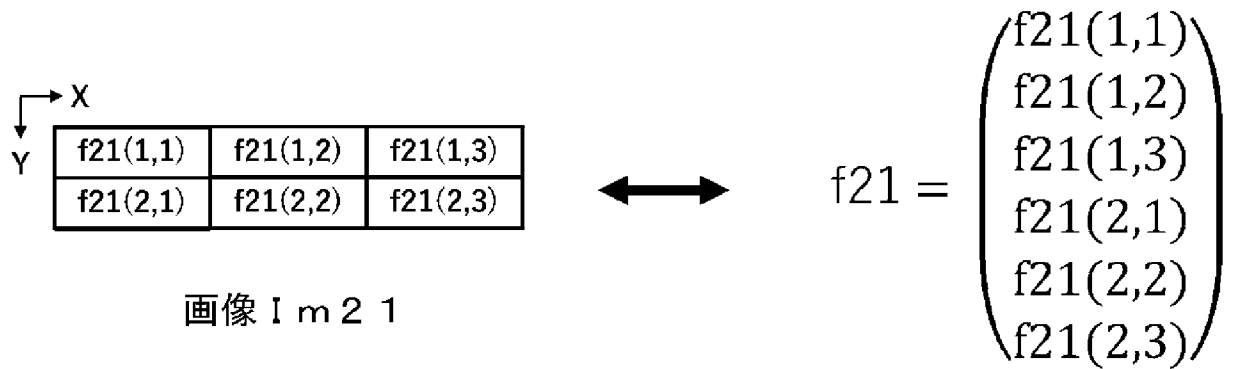
[図10B]



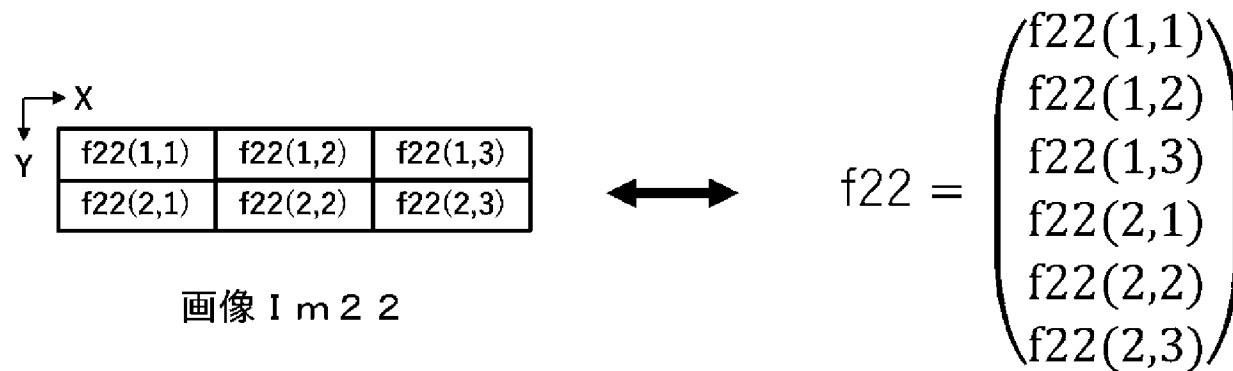
[図11A]



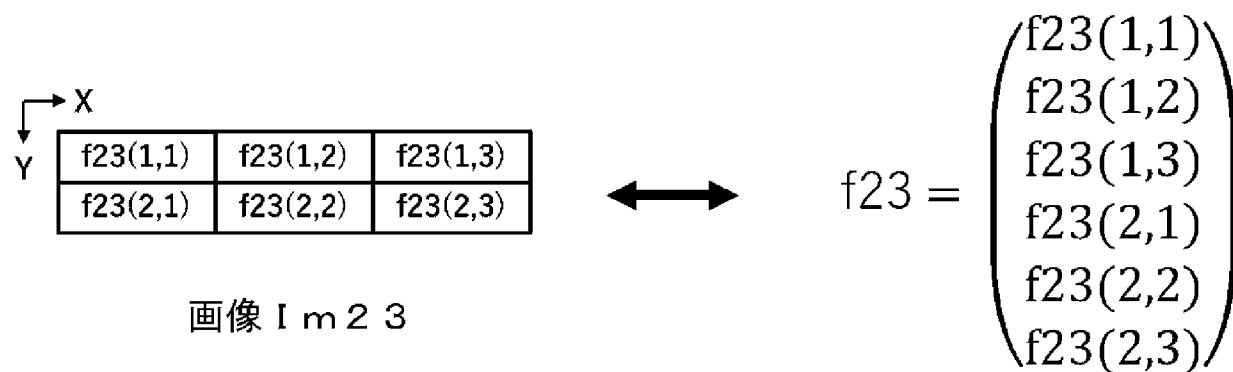
[図11B]



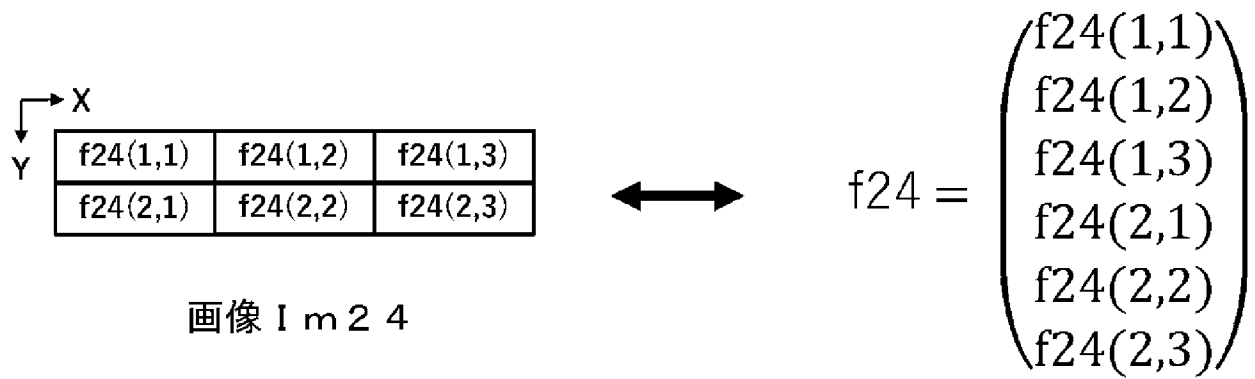
[図11C]



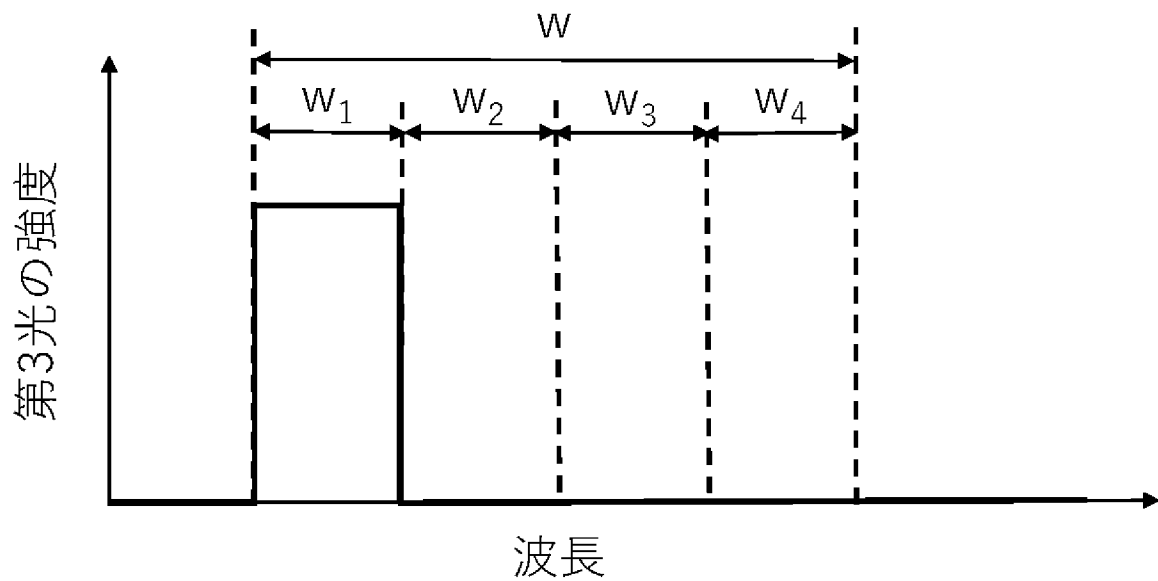
[図11D]



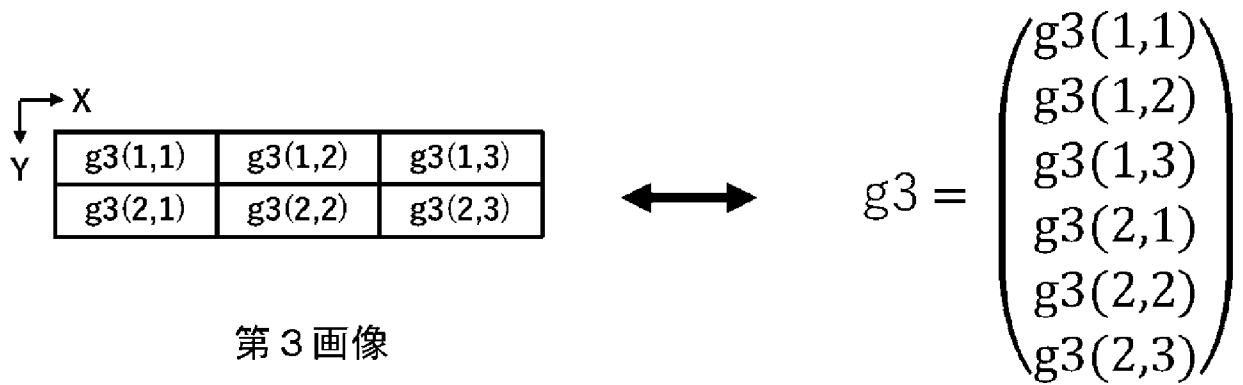
[図11E]



[図12]



[図13A]



[図13B]

$$f_{41} = \begin{pmatrix} f_{41}(1,1) \\ f_{41}(1,2) \\ f_{41}(1,3) \\ f_{41}(2,1) \\ f_{41}(2,2) \\ f_{41}(2,3) \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} p \\ p \\ p \\ p \\ p \\ p \end{pmatrix}$$

画像 I m 4 1

[図13C]

$$f_{42} = \begin{pmatrix} f_{42}(1,1) \\ f_{42}(1,2) \\ f_{42}(1,3) \\ f_{42}(2,1) \\ f_{42}(2,2) \\ f_{42}(2,3) \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix}$$

画像 I m 4 2

[図13D]

$$f_{43} = \begin{pmatrix} f_{43}(1,1) \\ f_{43}(1,2) \\ f_{43}(1,3) \\ f_{43}(2,1) \\ f_{43}(2,2) \\ f_{43}(2,3) \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix}$$

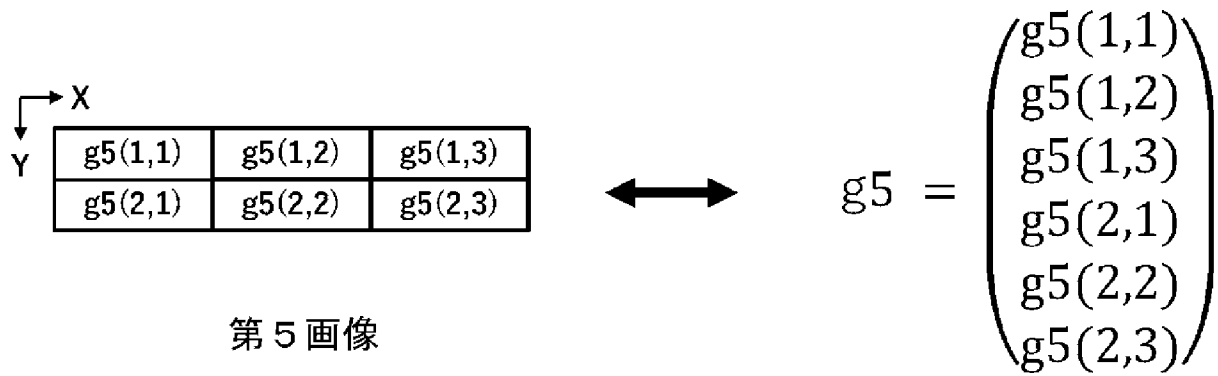
画像 I m 4 3

[図13E]

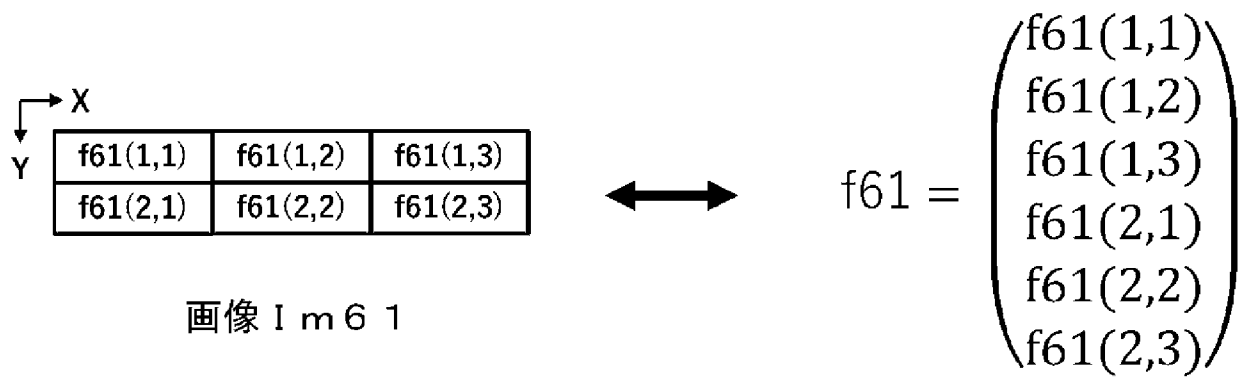
$$f_{44} = \begin{pmatrix} f_{44}(1,1) \\ f_{44}(1,2) \\ f_{44}(1,3) \\ f_{44}(2,1) \\ f_{44}(2,2) \\ f_{44}(2,3) \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix}$$

画像 I m 4 4

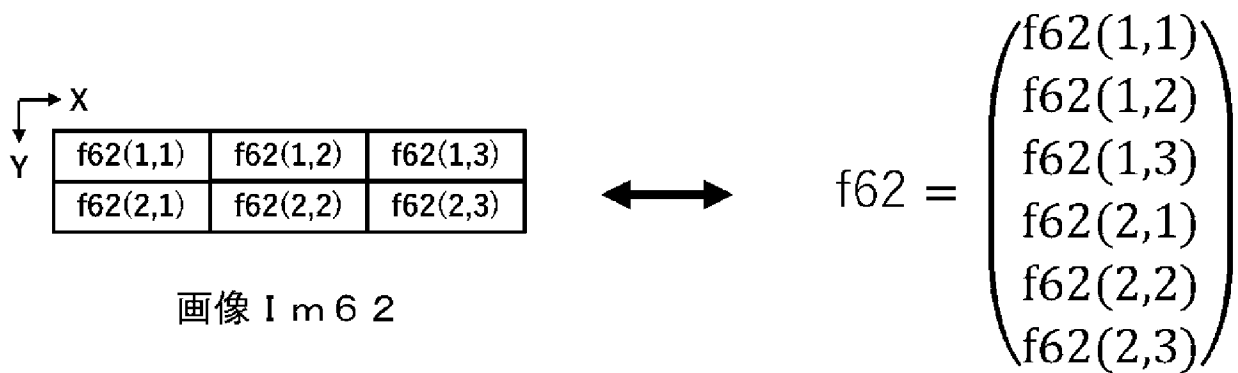
[図14A]



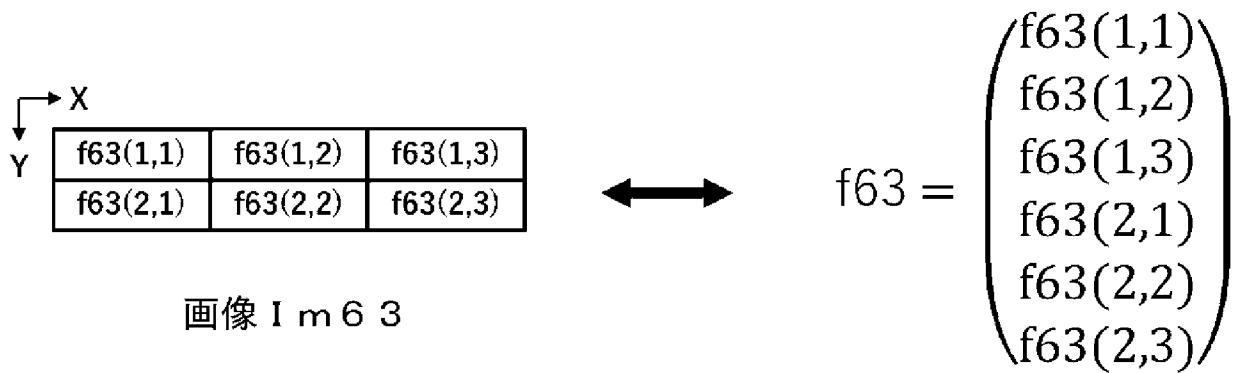
[図14B]



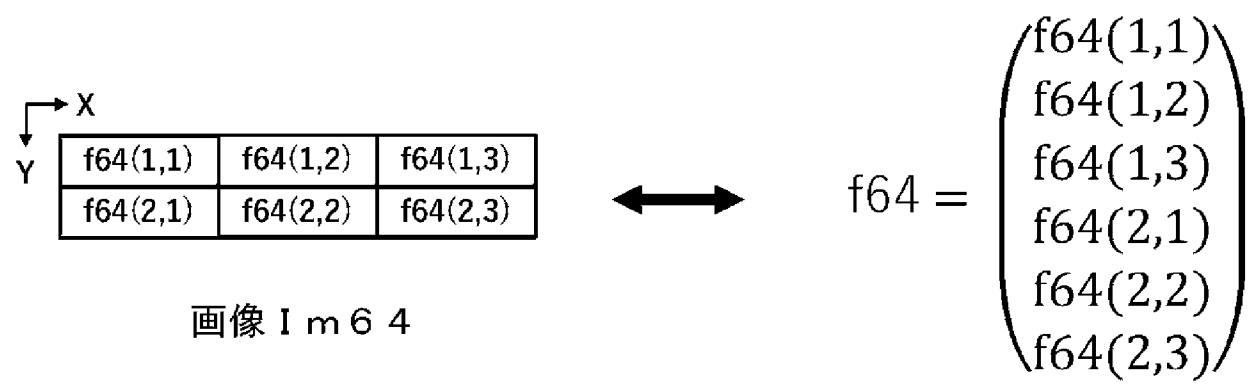
[図14C]



[図14D]



[図14E]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2022/004003

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER**G01J 3/26**(2006.01)i; **G01J 3/36**(2006.01)i; **G01J 3/46**(2006.01)i; **G01J 3/51**(2006.01)i; **H04N 9/07**(2006.01)i

FI: G01J3/36; G01J3/26; G01J3/51; G01J3/46 Z; H04N9/07 A

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)

G01J3/00-G01J3/52, G02B5/00-G02B5/32, G02B13/00-G02B13/26, G01N21/00-G01N21/61, H04N9/00-H04N9/898, G06T1/00-G06T1/60, G06T7/00-G06T7/90, A61B1/00-A61B1/32

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

Published examined utility model applications of Japan 1922-1996

Published unexamined utility model applications of Japan 1971-2022

Registered utility model specifications of Japan 1996-2022

Published registered utility model applications of Japan 1994-2022

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

JSTPlus/JMEDPlus/JST7580 (JDreamIII), JSTChina (JDreamIII), IEEE Xplore, SPIE Digital Library, OSA Publishing

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	JP 2008-518229 A (RP VENTURES TECHNOLOGY OFFICE AB) 29 May 2008 (2008-05-29) paragraphs [0017], [0026]-[0051], fig. 1-13	1-17
A	JP 2016-090576 A (PANASONIC IP MAN CORP) 23 May 2016 (2016-05-23)	1-17
A	US 2004/0218172 A1 (DE VERSE, Richard A. et al.) 04 November 2004 (2004-11-04)	1-17
A	JP 2020-506373 A (URUGUS S.A) 27 February 2020 (2020-02-27)	1-17
A	JP 2016-511015 A (KONINKLIJKE PHILIPS N.V.) 14 April 2016 (2016-04-14)	1-17
A	JP 2017-528695 A (SHANGHAI INSTITUTE OF OPTICS AND FINE MECHANICS CHINESE ACADEMY OF SCIENCES) 28 September 2017 (2017-09-28)	1-17
A	US 2018/0045568 A1 (KOREA ADVANCED INSTITUTE OF SCIENCE AND TECHNOLOGY) 15 February 2018 (2018-02-15)	1-17
A	JP 2014-089075 A (RICOH CO LTD) 15 May 2014 (2014-05-15)	1-17

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

* Special categories of cited documents:

“A” document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

“E” earlier application or patent but published on or after the international filing date

“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)

“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

“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

“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

“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

“&” document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

03 March 2022

Date of mailing of the international search report

22 March 2022

Name and mailing address of the ISA/JP

Japan Patent Office (ISA/JP)
3-4-3 Kasumigaseki, Chiyoda-ku, Tokyo 100-8915
Japan

Authorized officer

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2022/004003**C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT**

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	Geometric Processing and Accuracy Verification of Zhuhai-1 Hyperspectral Satellites. Remote Sensing. 26 April 2019, vol. 11, 996, doi: 10.3390/rs11090996 2. Methods	1-17
A	Direct Reflectance Measurements from Drones: Sensor Absolute Radiometric Calibration and System Tests for Forest Reflectance Characterization. Sensors. 03 May 2018, vol. 18, 1417, doi: 10.3390/s18051417 2. Materials and methods	1-17

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.

PCT/JP2022/004003

Patent document cited in search report			Publication date (day/month/year)	Patent family member(s)	Publication date (day/month/year)
JP	2008-518229	A	29 May 2008	US 2008/0123097 A1 paragraphs [0019], [0087]- [0138], fig. 1-21 WO 2006/046913 A1 WO 2006/046898 A1 EP 1817558 A CN 101124462 A CA 2594105 A1	
JP	2016-090576	A	23 May 2016	US 2016/0123810 A1	
US	2004/0218172	A1	04 November 2004	(Family: none)	
JP	2020-506373	A	27 February 2020	US 2018/0180476 A1 WO 2018/125940 A1 EP 3563127 A1 CA 3048626 A1 CN 110114646 A	
JP	2016-511015	A	14 April 2016	US 2016/0007858 A1 WO 2014/118674 A2 EP 2950708 A2 CN 104968257 A	
JP	2017-528695	A	28 September 2017	US 2017/0126990 A1 WO 2016/011675 A1 EP 3182080 A1 CN 104121990 A	
US	2018/0045568	A1	15 February 2018	WO 2018/030592 A1 KR 10-2018-0018275 A	
JP	2014-089075	A	15 May 2014	(Family: none)	

A. 発明の属する分野の分類（国際特許分類（IPC）） G01J 3/26(2006.01)i; G01J 3/36(2006.01)i; G01J 3/46(2006.01)i; G01J 3/51(2006.01)i; H04N 9/07(2006.01)i FI: G01J3/36; G01J3/26; G01J3/51; G01J3/46 Z; H04N9/07 A																										
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）） G01J3/00-G01J3/52, G02B5/00-G02B5/32, G02B13/00-G02B13/26, G01N21/00-G01N21/61, H04N9/00-H04N9/898, G06T1/00-G06T1/60, G06T7/00-G06T7/90, A61B1/00-A61B1/32 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 1971-2022年 日本国実用新案登録公報 1996-2022年 日本国登録実用新案公報 1994-2022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） JSTPlus/JMEDPlus/JST7580 (JDreamIII), JSTChina (JDreamIII), IEEE Xplore, SPIE Digital Library, OSA Publishing																										
C. 関連すると認められる文献 <table border="1"> <thead> <tr> <th>引用文献の カテゴリー*</th> <th>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</th> <th>関連する 請求項の番号</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>A</td> <td>JP 2008-518229 A（アールビー ベンチャーズ テクノロジー オフィス アーバー） 29.05.2008（2008-05-29） [0017]、[0026]－[0051]、図1－図13</td> <td>1-17</td> </tr> <tr> <td>A</td> <td>JP 2016-090576 A（パナソニックIPマネジメント株式会社）23.05.2016（2016-05-23）</td> <td>1-17</td> </tr> <tr> <td>A</td> <td>US 2004/0218172 A1（DE VERSE, Richard A. et al.）04.11.2004（2004-11-04）</td> <td>1-17</td> </tr> <tr> <td>A</td> <td>JP 2020-506373 A（ウルグス ソシエダード アノニマ）27.02.2020（2020-02-27）</td> <td>1-17</td> </tr> <tr> <td>A</td> <td>JP 2016-511015 A（コーニンクレッカ フィリップス エヌ ヴェ）14.04.2016 （2016-04-14）</td> <td>1-17</td> </tr> <tr> <td>A</td> <td>JP 2017-528695 A（中国科学院上海光学精密機械研究所）28.09.2017（2017-09-28）</td> <td>1-17</td> </tr> <tr> <td>A</td> <td>US 2018/0045568 A1（KOREA ADVANCED INSTITUTE OF SCIENCE AND TECHNOLOGY） 15.02.2018（2018-02-15）</td> <td>1-17</td> </tr> </tbody> </table>			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 2008-518229 A（アールビー ベンチャーズ テクノロジー オフィス アーバー） 29.05.2008（2008-05-29） [0017]、[0026]－[0051]、図1－図13	1-17	A	JP 2016-090576 A（パナソニックIPマネジメント株式会社）23.05.2016（2016-05-23）	1-17	A	US 2004/0218172 A1（DE VERSE, Richard A. et al.）04.11.2004（2004-11-04）	1-17	A	JP 2020-506373 A（ウルグス ソシエダード アノニマ）27.02.2020（2020-02-27）	1-17	A	JP 2016-511015 A（コーニンクレッカ フィリップス エヌ ヴェ）14.04.2016 （2016-04-14）	1-17	A	JP 2017-528695 A（中国科学院上海光学精密機械研究所）28.09.2017（2017-09-28）	1-17	A	US 2018/0045568 A1（KOREA ADVANCED INSTITUTE OF SCIENCE AND TECHNOLOGY） 15.02.2018（2018-02-15）	1-17
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 2008-518229 A（アールビー ベンチャーズ テクノロジー オフィス アーバー） 29.05.2008（2008-05-29） [0017]、[0026]－[0051]、図1－図13	1-17																								
A	JP 2016-090576 A（パナソニックIPマネジメント株式会社）23.05.2016（2016-05-23）	1-17																								
A	US 2004/0218172 A1（DE VERSE, Richard A. et al.）04.11.2004（2004-11-04）	1-17																								
A	JP 2020-506373 A（ウルグス ソシエダード アノニマ）27.02.2020（2020-02-27）	1-17																								
A	JP 2016-511015 A（コーニンクレッカ フィリップス エヌ ヴェ）14.04.2016 （2016-04-14）	1-17																								
A	JP 2017-528695 A（中国科学院上海光学精密機械研究所）28.09.2017（2017-09-28）	1-17																								
A	US 2018/0045568 A1（KOREA ADVANCED INSTITUTE OF SCIENCE AND TECHNOLOGY） 15.02.2018（2018-02-15）	1-17																								
☒ C欄の続きにも文献が列挙されている。 ☒ 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、一般的な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の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抵触するものではなく、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 03.03.2022		国際調査報告の発送日 22.03.2022																								
名称及びあて先 日本国特許庁(ISA/JP) 〒100-8915 日本国 東京都千代田区霞が関三丁目4番3号		権限のある職員（特許庁審査官） 嶋田 行志 2W 8353 電話番号 03-3581-1101 内線 3257																								

C. 関連すると認められる文献		
引用文献の カテゴリ*	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 2014-089075 A (株式会社リコー) 15.05.2014 (2014 - 05 - 15)	1-17
A	Geometric Processing and Accuracy Verification of Zhuhai-1 Hyperspectral Satellites, Remote Sensing, 2019.04.26, Vol. 11, 996, doi: 10.3390/rs11090996 2. Methods	1-17
A	Direct Reflectance Measurements from Drones: Sensor Absolute Radiometric Calibration and System Tests for Forest Reflectance Characterization, Sensors, 2018.05.03, Vol. 18, 1417, doi: 10.3390/s18051417 2. Materials and methods	1-17

国際調査報告
 パテントファミリーに関する情報

国際出願番号

PCT/JP2022/004003

引用文献			公表日	パテントファミリー文献			公表日
JP	2008-518229	A	29.05.2008	US	2008/0123097	A1	
					[0019], [0087]-[0138], Figs. 1-21		
				WO	2006/046913	A1	
				WO	2006/046898	A1	
				EP	1817558	A	
				CN	101124462	A	
				CA	2594105	A1	
JP	2016-090576	A	23.05.2016	US	2016/0123810	A1	
US	2004/0218172	A1	04.11.2004	(ファミリーなし)			
JP	2020-506373	A	27.02.2020	US	2018/0180476	A1	
				WO	2018/125940	A1	
				EP	3563127	A1	
				CA	3048626	A1	
				CN	110114646	A	
JP	2016-511015	A	14.04.2016	US	2016/0007858	A1	
				WO	2014/118674	A2	
				EP	2950708	A2	
				CN	104968257	A	
JP	2017-528695	A	28.09.2017	US	2017/0126990	A1	
				WO	2016/011675	A1	
				EP	3182080	A1	
				CN	104121990	A	
US	2018/0045568	A1	15.02.2018	WO	2018/030592	A1	
				KR	10-2018-0018275	A	
JP	2014-089075	A	15.05.2014	(ファミリーなし)			