

(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
2024年10月3日(03.10.2024)

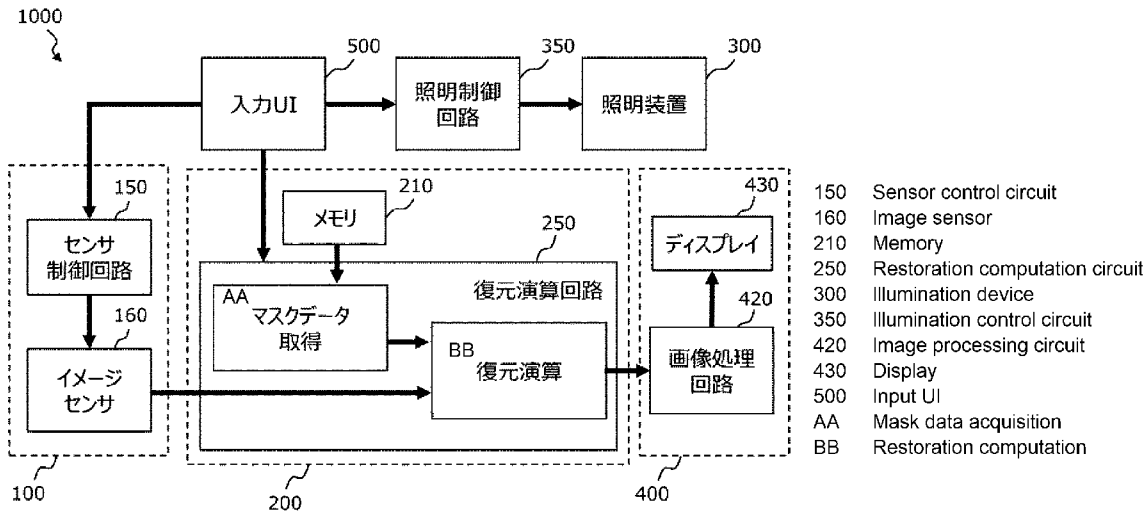


(10) 国際公開番号
WO 2024/203282 A1

- (51) 国際特許分類:
H04N 23/95 (2023.01) H04N 23/54 (2023.01)
G01J 3/36 (2006.01) H04N 23/55 (2023.01)
G01J 3/51 (2006.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2024/009554
- (22) 国際出願日: 2024年3月12日(12.03.2024)
- (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 2023-057197 2023年3月31日(31.03.2023) 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]; 〒5710057 大阪府門真市元町2番6号 Osaka (JP).
- (72) 発明者: 佐藤 智 (SATO Satoshi). 清原 孝行 (KIYOHARA Takayuki).
- (74) 代理人: 鎌田 健司, 外 (KAMATA Kenji et al.); 〒5710057 大阪府門真市元町2番6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, CV, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IQ, IR, IS, IT, JM, JO, JP, KE, KG, KH, KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, MG, MK, MN, MU, 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,

(54) Title: IMAGING SYSTEM AND METHOD

(54) 発明の名称: 撮像システムおよび方法



(57) Abstract: This imaging system comprises: an illumination device that emits illumination light with which an object is illuminated; an imaging device that receives reflected light from the object resulting from the illumination light, and generates a compressed image in which image information corresponding to a plurality of wavelength bands included in a given wavelength region is compressed as one piece of image information; and a processing device that, on the basis of the compressed image, generates a plurality of restored images each corresponding to a different band among the plurality of wavelength bands. The plurality of wavelength bands include a first wavelength band and a second wavelength band. The intensity of light at the first wavelength band included in the illumination light and the intensity of light at the second wavelength band included in the illumination light are different from each other.

WO 2024/203282 A1

SL, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA,
UG, US, UZ, VC, VN, WS, 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, CV, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SC, 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, ME, 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:

— 国際調査報告 (条約第21条(3))

(57) 要約: 撮像システムは、対象物に照射される照明光を出射する照明装置と、前記照明光に起因する前記対象物からの反射光を受け、対象波長域に含まれる複数の波長バンドの画像情報が1つの画像情報として圧縮された圧縮画像を生成する撮像装置と、前記圧縮画像に基づき、それぞれが前記複数の波長バンドの異なる1つに対応する複数の復元画像を生成する処理装置と、を備える。前記複数の波長バンドは、第1波長バンドおよび第2波長バンドを含む。前記照明光に含まれる前記第1波長バンドの光の強度と、前記照明光に含まれる前記第2波長バンドの光の強度とが異なる。

明 細 書

発明の名称：撮像システムおよび方法

技術分野

[0001] 本開示は、撮像システムおよび方法に関する。

背景技術

[0002] 各々が狭帯域である多数の波長バンド（以下、単に「バンド」とも称する。）、例えば数十バンドのスペクトル情報を活用することにより、従来の3バンド（赤、緑、青）の色情報を有するRGB画像では不可能であった対象物の詳細な物性の把握が可能になる。そのような多くの波長バンドの画像を取得するカメラは、「ハイパースペクトルカメラ」と呼ばれる。ハイパースペクトルカメラは、食品検査、生体検査、医薬品開発、および鉱物の成分分析などの様々な分野で利用されている。

[0003] 特許文献1は、圧縮センシングを利用したハイパースペクトル撮像装置の例を開示している。圧縮センシングは、観測対象のデータ分布が、ある空間（例えば周波数空間）においてスパース（疎）であると仮定することで、観測されたデータよりも多くのデータを復元する技術である。特許文献1に開示された撮像装置は、対象物とイメージセンサとを結ぶ光路上に、分光透過率（spectral transmittance）が互いに異なる複数の光学フィルタのアレイである符号化素子を備える。当該撮像装置は、符号化素子を用いた撮像によって取得された圧縮画像に基づく復元演算により、1回の撮像で複数の波長バンドの各々に対応する画像を生成することができる。

先行技術文献

特許文献

[0004] 特許文献1：米国特許第9599511号明細書

発明の概要

[0005] 本開示は、圧縮センシングを利用した撮像装置によって取得された圧縮画像から復元される各波長バンドの画像の品質を向上させることが可能なシス

テムおよび方法を提供する。

[0006] 本開示の一態様に係る撮像システムは、対象物に照射される照明光を出射する照明装置と、前記照明光に起因する前記対象物からの反射光を受け、対象波長域に含まれる複数の波長バンドの画像情報が1つの画像情報として圧縮された圧縮画像を生成する撮像装置と、前記圧縮画像に基づき、それぞれが前記複数の波長バンドの異なる1つに対応する複数の復元画像を生成する処理装置と、を備える。前記複数の波長バンドは、第1波長バンドおよび第2波長バンドを含む。前記照明光に含まれる前記第1波長バンドの光の強度と、前記照明光に含まれる前記第2波長バンドの光の強度とが異なる。

[0007] 本開示の他の態様に係る方法は、コンピュータによって実行され、対象物に照射される照明光を照明装置に出射させることと、前記照明光に起因する前記対象物からの反射光を受け、対象波長域に含まれる複数の波長バンドの画像情報が1つの画像情報として圧縮された圧縮画像を生成する撮像装置に、前記圧縮画像を生成させることと、を含む。前記複数の波長バンドは、第1波長バンドおよび第2波長バンドを含む。前記照明光に含まれる前記第1波長バンドの光の強度と、前記照明光に含まれる前記第2波長バンドの光の強度とが異なる。

[0008] 本開示のさらに他の態様に係る方法は、コンピュータによって実行され、対象物の分光反射特性に関する第1データを取得することと、前記対象物に照射される照明光のスペクトルに関する第2データを取得することと、前記対象物を撮像する撮像装置の各画素の分光感度特性に関する第3データを取得することと、前記第1データ、前記第2データ、および前記第3データに基づき、前記照明光が照射された前記対象物を前記撮像装置が撮像した場合に生成されると推定される推定画像を生成することと、を含む。

[0009] 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得る。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いし、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において、「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。

[0010] 本開示の技術によれば、スペクトル情報が圧縮された圧縮画像から復元される各波長バンドの画像の品質を向上させることが可能になる。

図面の簡単な説明

[0011] [図1A]図1Aは、撮像システムの構成例を模式的に示す図である。

[図1B]図1Bは、撮像システムの他の構成例を模式的に示す図である。

[図1C]図1Cは、撮像システムのさらに他の構成例を模式的に示す図である。

[図1D]図1Dは、撮像システムのさらに他の構成例を模式的に示す図である。

[図2A]図2Aは、フィルタアレイの例を模式的に示す図である。

[図2B]図2Bは、対象波長域に含まれる複数の波長バンドのそれぞれの光の透過率の空間分布の一例を示す図である。

[図2C]図2Cは、図2Aに示すフィルタアレイに含まれる領域A1の分光透過率の例を示す図である。

[図2D]図2Dは、図2Aに示すフィルタアレイに含まれる領域A2の分光透過率の例を示す図である。

[図3]図3は、対象波長域と、それに含まれる複数の波長バンドとの関係の例を説明するための図である。

[図4A]図4Aは、フィルタアレイのある領域における分光透過率の特性を説明するための図である。

[図4B]図4Bは、図4Aに示す分光透過率を、波長バンドごとに平均化した

結果を示す図である。

[図5A]図5 Aは、ハイパースペクトル画像のデータ構造の一例を示す図である。

[図5B]図5 Bは、ハイパースペクトル画像のデータ構造の他の例を示す図である。

[図5C]図5 Cは、ハイパースペクトル画像のデータ構造のさらに他の例を示す図である。

[図6A]図6 Aは、縦横に延びる複数のストライプを含む色見本を示す図である。

[図6B]図6 Bは、図6 Aに示す色見本を、撮像装置で撮像した場合に得られる圧縮画像の例を示す図である。

[図7A]図7 Aは、照明光の不均一なスペクトル強度の例を示すグラフである。

[図7B]図7 Bは、照明光の不均一なスペクトル強度の例を示すグラフである。

[図7C]図7 Cは、照明光の不均一なスペクトル強度の例を示すグラフである。

[図7D]図7 Dは、照明光の不均一なスペクトル強度の例を示すグラフである。

[図8]図8は、撮像システムの構成例を示すブロック図である。

[図9]図9は、マスクデータの例を示す図である。

[図10]図10は、撮像システムの他の構成例を示すブロック図である。

[図11]図11は、処理装置の動作の例を示すフローチャートである。

[図12]図12は、エッジ画像を生成する方法の一例を示す図である。

[図13]図13は、エッジ画像を生成する方法の他の例を示す図である。

[図14]図14は、エッジ画像を生成する方法のさらに他の例を示す図である。

[図15]図15は、圧縮画像とエッジ画像の重畳表示の例を示す図である。

[図16]図16は、圧縮画像とエッジ画像とを並べて表示する例を示す図である。

[図17]図17は、圧縮画像とエッジ画像の表示のさらに他の例を示す図である。

[図18]図18は、圧縮画像とエッジ画像の表示のさらに他の例を示す図である。

[図19]図19は、圧縮画像とエッジ画像の表示のさらに他の例を示す図である。

[図20]図20は、撮像システムの他の構成例を示すブロック図である。

[図21]図21は、処理装置の動作の他の例を示すフローチャートである。

[図22]図22は、処理装置の動作のさらに他の例を示すフローチャートである。

[図23]図23は、撮像システムのさらに他の構成例を示すブロック図である。

[図24]図24は、処理装置の動作のさらに他の例を示すフローチャートである。

[図25]図25は、想定される対象物に応じた最適な照明光のスペクトルを決定するシステムの構成例を示すブロック図である。

[図26]図26は、対象物の分光反射率の例を示す図である。

[図27]図27は、図25に示すシステムにおける処理回路によって実行される処理の例を示すフローチャートである。

発明を実施するための形態

[0012] 本開示において、回路、ユニット、装置、部材もしく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で構成されてもよい。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、FPGA (Field Programmable Gate Array)、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RLD (reconfigurable logic device) も同じ目的で使うことができる。

[0013] 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動作は、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、および必要とされるハードウェアデバイス、例えばインタフェースを備えていてもよい。

[0014] 本明細書において、画像を示すデータまたは信号、すなわち、画像における複数の画素のそれぞれの画素値を表すデータまたは信号の集合を、単に「画像」と称することがある。

[0015] 本開示において、「光」とは、可視光 (波長が約400nm~約700nm) だけでなく、紫外線 (波長が約10nm~約400nm) および赤外線 (波長が約700nm~約1mm) を含む電磁波を意味する。

[0016] 以下、本開示の例示的な実施形態をより詳細に説明する。なお、以下で説明する実施形態は、いずれも包括的また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および接続形態、ステップ、ステップの順序などは、一例であり、本開示を限定する趣旨ではない。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、同一または類似の構成要素に対して同一の符号が付されている。重複する説明は省略または簡略化される場合がある。

[0017] [1. 撮像システム]

図1Aは、本開示の例示的な実施形態による撮像システム1000の構成例を模式的に示す図である。図1Aに示す撮像システム1000は、撮像装置100と、処理装置200と、照明装置300とを備える。撮像装置100は、特許文献1に開示された撮像装置と同様の構成を備える。撮像装置100は、光学系140と、フィルタアレイ110と、イメージセンサ160とを備える。光学系140およびフィルタアレイ110は、被写体である対象物70から入射する光の光路上に配置される。図1Aの例におけるフィルタアレイ110は、光学系140とイメージセンサ160との間に配置されている。

[0018] 図1Aには、対象物70の一例として、リンゴが例示されている。対象物70は、リンゴに限らず、任意の物体であり得る。対象物70は、照明装置300からの照明光によって照射され、撮像装置100によって撮像される。イメージセンサ160は、予め設定された対象波長域に含まれる複数の波長バンドの画像情報が2次元のモノクロ画像の情報として圧縮された圧縮画像10のデータを生成する。処理装置200は、イメージセンサ160が生成した圧縮画像10のデータに基づいて、対象波長域に含まれる複数の波長バンドに1対1に対応する複数の画像を示すデータを生成する。ここで、対象波長域に含まれる波長バンドの数を N (N は4以上の整数)とする。以下の説明において、圧縮画像10に基づいて生成される N 個の画像を、復元画像 $20W_1$ 、 $20W_2$ 、 \dots 、 $20W_N$ と称し、これらを「ハイパースペクトル画像20」または単に「スペクトル画像」と総称することがある。

[0019] 本実施形態におけるフィルタアレイ110は、行および列状に配列された透光性を有する複数のフィルタが配列された光学素子である。複数のフィル

タは、分光透過率が互いに異なる複数種類のフィルタを含む。分光透過率は、透過率の波長依存性を示し、透過スペクトルとも称する。フィルタアレイ 110 は、入射光の強度を波長ごとに変調して出力する。フィルタアレイ 110 によるこの過程を「符号化」と称する。フィルタアレイ 110 を「符号化素子」または「符号化マスク」と称することもある。

[0020] 図 1 A に示す例において、フィルタアレイ 110 は、イメージセンサ 160 の近傍または直上に配置されている。ここで「近傍」とは、光学系 140 からの光の像がある程度鮮明な状態でフィルタアレイ 110 の面上に形成される程度に近接していることを意味する。「直上」とは、ほとんど隙間が生じない程両者が近接していることを意味する。フィルタアレイ 110 およびイメージセンサ 160 は一体化されていてもよい。

[0021] 光学系 140 は、少なくとも 1 つのレンズを含む。図 1 A では、光学系 140 が 1 つのレンズとして示されているが、光学系 140 は複数のレンズの組み合わせであってもよい。光学系 140 は、フィルタアレイ 110 を介して、イメージセンサ 160 の撮像面上に像を形成する。

[0022] フィルタアレイ 110 は、イメージセンサ 160 から離れて配置されていてもよい。図 1 B から図 1 D は、フィルタアレイ 110 がイメージセンサ 160 から離れて配置されている撮像装置 100 の構成例を示す図である。図 1 B の例では、フィルタアレイ 110 が、光学系 140 とイメージセンサ 160 との間で且つイメージセンサ 160 から離れた位置に配置されている。図 1 C の例では、フィルタアレイ 110 が対象物 70 と光学系 140 との間に配置されている。図 1 D の例では、撮像装置 100 が 2 つの光学系 140 A および 140 B を備え、それらの間にフィルタアレイ 110 が配置されている。これらの例のように、フィルタアレイ 110 とイメージセンサ 160 との間に 1 つ以上のレンズを含む光学系が配置されていてもよい。

[0023] イメージセンサ 160 は、2 次元的に配列された複数の光検出素子（本明細書において、「画素」とも呼ぶ。）を有するモノクロタイプの光検出装置である。イメージセンサ 160 は、例えば CCD (Charge-Coupled Device)

、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む。イメージセンサ160は、必ずしもモノクロタイプのセンサである必要はない。例えば、カラータイプのセンサを用いてもよい。カラータイプのセンサは、例えば、赤色の光を透過する複数の赤 (R) フィルタ、緑色の光を透過する複数の緑 (G) フィルタ、および青色の光を透過する複数の青 (B) フィルタを含み得る。カラータイプのセンサは、さらに、赤外線を透過する複数のIRフィルタを含んでいてもよい。また、カラータイプのセンサは、赤色、緑色、青色の全ての光を透過する複数の透明フィルタを含んでいてもよい。カラータイプのセンサを使用することで、波長に関する情報量を増やすことができ、ハイパースペクトル画像20の再構成の精度を向上させることができる。取得対象の波長範囲は任意に決定してよく、可視の波長範囲に限らず、紫外、近赤外、中赤外、または遠赤外の波長範囲であってもよい。

[0024] 処理装置200は、1つ以上のプロセッサと、メモリ等の1つ以上の記憶媒体とを備えるコンピュータであり得る。処理装置200は、イメージセンサ160によって取得された圧縮画像10に基づいて、複数の復元画像 $20W_1$ 、 $20W_2$ 、 \dots 、 $20W_N$ のデータを生成する。

[0025] 図2Aは、フィルタアレイ110の例を模式的に示す図である。フィルタアレイ110は、2次元的に配列された複数の領域を有する。本明細書では、当該領域を、「セル」と称することがある。各領域には、個別に設定された分光透過率を有する光学フィルタが配置されている。分光透過率は、入射光の波長を λ として、関数 $T(\lambda)$ で表される。分光透過率 $T(\lambda)$ は、0以上1以下の値を取り得る。

[0026] 図2Aに示す例では、フィルタアレイ110は、6行8列に配列された48個の矩形領域を有する。これはあくまで例示であり、実際の用途では、これよりも多くの領域が設けられ得る。その数は、例えばイメージセンサ160の画素数と同程度であってもよい。フィルタアレイ110に含まれるフィ

ルタ数は、例えば数十から数千万の範囲で用途に応じて決定される。

[0027] 図2Bは、対象波長域に含まれる波長バンド W_1 、 W_2 、 \dots 、 W_N のそれぞれの光の透過率の空間分布の一例を示す図である。図2Bに示す例では、各領域の濃淡の違いは、透過率の違いを表している。薄い領域ほど透過率が高く、濃い領域ほど透過率が低い。図2Bに示すように、波長バンドによって光透過率の空間分布が異なっている。

[0028] 図2Cおよび図2Dは、それぞれ、図2Aに示すフィルタアレイ110に含まれる領域A1および領域A2の分光透過率の例を示す図である。領域A1の分光透過率と領域A2の分光透過率とは、互いに異なる。このように、フィルタアレイ110の分光透過率は、領域によって異なる。ただし、必ずしもすべての領域の分光透過率が異なっている必要はない。フィルタアレイ110では、複数の領域の少なくとも一部の領域の分光透過率が互いに異なっている。フィルタアレイ110は、分光透過率が互いに異なる2つ以上のフィルタを含む。ある例では、フィルタアレイ110に含まれる複数の領域の分光透過率のパターンの数は、対象波長域に含まれる波長バンドの数 N と同じか、それ以上であり得る。フィルタアレイ110は、半数以上の領域の分光透過率が異なるように設計されていてもよい。

[0029] 図3は、対象波長域 W と、それに含まれる波長バンド W_1 、 W_2 、 \dots 、 W_N 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400nmから約700nmの可視光の波長域、約700nmから約2500nmの近赤外線の波長域、または約10nmから約400nm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など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、赤外線および紫外線を含む放射全般を「光」と称する。

[0030] 図3に示す例では、 N を4以上の任意の整数として、対象波長域 W を N 等分したそれぞれの波長域を波長バンド W_1 、 W_2 、 \dots 、 W_N 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 に含まれる複数の波長バン

ドは任意に設定してもよい。例えば、波長バンドによって帯域幅を不均一にしてもよい。複数の波長バンドの決め方は任意である。

[0031] 図4Aは、フィルタアレイ110のある領域における分光透過率の特性を説明するための図である。図4Aに示す例では、分光透過率は、対象波長域W内の波長に関して、複数の極大値P1からP5、および複数の極小値を有する。図4Aに示す例では、対象波長域W内での光透過率の最大値が1、最小値が0となるように正規化されている。図4Aに示す例では、波長バンド W_2 、および波長バンド W_{N-1} などの波長域において、分光透過率が極大値を有している。このように、各領域の分光透過率は、波長バンド W_1 、 W_2 、 \dots 、 W_N のうち、少なくとも2つの複数の波長域において極大値を有するように設計され得る。図4Aの例では、極大値P1、P3、P4およびP5は0.5以上である。

[0032] このように、各領域の光透過率は、波長によって異なる。したがって、フィルタアレイ110は、入射する光のうち、ある波長域の成分を多く透過させ、他の波長域の成分をそれほど透過させない。例えば、N個の波長バンドのうちk個の波長バンドの光については、透過率が0.5よりも大きく、残りの $N-k$ 個の波長域の光については、透過率が0.5未満であり得る。kは、 $2 \leq k < N$ を満たす整数である。仮に入射光が、すべての可視光の波長成分を均等に含む白色光であった場合には、フィルタアレイ110は、入射光を領域ごとに、波長に関して離散的な複数の強度のピークを有する光に変調し、これらの多波長の光を重畳して出力する。

[0033] 図4Bは、一例として、図4Aに示す分光透過率を、波長バンド W_1 、 W_2 、 \dots 、 W_N ごとに平均化した結果を示す図である。平均化された透過率は、分光透過率 $T(\lambda)$ を波長バンドごとに積分してその波長バンドの帯域幅で除算することによって得られる。本明細書では、このように波長バンドごとに平均化した透過率の値を、その波長バンドにおける透過率とする。この例では、極大値P1、P3およびP5をとる3つの波長域において、透過率が突出して高くなっている。特に、極大値P3およびP5をとる2つの波長

域において、透過率が0.8を超えている。

[0034] 図2Aから図2Dに示す例では、各領域の透過率が0以上1以下の任意の値をとり得るグレースケールの透過率分布が想定されている。しかし、必ずしもグレースケールの透過率分布にする必要はない。例えば、各領域の透過率がほぼ0またはほぼ1のいずれかの値を取り得るバイナリスケールの透過率分布を採用してもよい。バイナリスケールの透過率分布では、各領域は、対象波長域に含まれる複数の波長域のうち少なくとも2つの波長域の光の大部分を透過させ、残りの波長域の光の大部分を透過させない。ここで「大部分」とは、概ね80%以上を指す。

[0035] 全セルのうちの一部、例えば半分のセルを、透明領域に置き換えてもよい。そのような透明領域は、対象波長域 W に含まれる波長バンド W_1 、 W_2 、 \dots 、 W_N のそれぞれの光を同程度の高い透過率、例えば80%以上の透過率で透過させる。そのような構成では、複数の透明領域は、例えば市松 (check erboard) 状に配置され得る。すなわち、フィルタアレイ110における複数の領域の2つの配列方向において、光透過率が波長によって異なる領域と、透明領域とが交互に配列され得る。

[0036] このようなフィルタアレイ110の分光透過率の空間分布を示すデータは、設計データまたは実測キャリブレーションに基づいて事前を取得され、処理装置200が備える記憶媒体に格納される。このデータは、後述する演算処理に利用される。

[0037] フィルタアレイ110は、例えば、多層膜、有機材料、回折格子構造、または金属を含む微細構造を用いて構成され得る。多層膜を用いる場合、例えば、誘電体多層膜または金属層を含む多層膜が用いられ得る。この場合、セルごとに各多層膜の厚さ、材料、および積層順序の少なくとも1つが異なるように形成される。これにより、セルによって異なる分光特性を実現できる。多層膜を用いることにより、分光透過率におけるシャープな立ち上がりおよび立ち下りを実現できる。有機材料を用いた構成は、セルによって含有する顔料または染料が異なるようにしたり、異種の材料を積層させたりすること

によって実現され得る。回折格子構造を用いた構成は、セルごとに異なる回折ピッチまたは深さの回折構造を設けることによって実現され得る。金属を含む微細構造を用いる場合は、プラズモン効果による分光を利用して作製され得る。

[0038] 次に、処理装置200による信号処理の例を説明する。処理装置200は、イメージセンサ160から出力された圧縮画像10、およびフィルタアレイ110の波長ごとの透過率の空間分布特性に基づいて、多波長のハイパースペクトル画像20を再構成する。ここで多波長とは、例えば通常のカラーカメラで取得されるRGBの3色の波長域よりも多くの波長域を意味する。この波長域の数は、例えば4から100程度の数であり得る。この波長域の数を、「バンド数」と称する。用途によっては、バンド数は100を超えていてもよい。

[0039] 図5Aは、ハイパースペクトル画像20のデータ構造の一例を示す図である。図5Aの例では、ハイパースペクトル画像20は、N個の画像20W₁, 20W₂, …, 20W_Nの集合体として表現される。このような構造を有するハイパースペクトル画像20のデータは「ハイパースペクトルデータキューブ」と呼ばれる。k=1, 2, …, Nとして、第kの画像20W_kは、第kの波長バンドλ_kに対応する。ここでは、第kの波長バンドの中心波長λ_kを、第kの波長バンドを表す参照符号として用いる。画像20W₁, 20W₂, …, 20W_Nのそれぞれの、横方向の画素数をm、縦方向の画素数をnとし、第kの画像20W_kにおける第i行第j列の画素の画素値をp_{kij}とする。すると、ハイパースペクトル画像20は、以下のN個のn×m行列で表現することができる。

[数1]

$$\begin{pmatrix} p_{111} & \dots & p_{11m} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ p_{1n1} & \dots & p_{1nm} \end{pmatrix}, \begin{pmatrix} p_{211} & \dots & p_{21m} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ p_{2n1} & \dots & p_{2nm} \end{pmatrix}, \dots, \begin{pmatrix} p_{N11} & \dots & p_{N1m} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ p_{Nn1} & \dots & p_{Nnm} \end{pmatrix}$$

[0040] なお、ハイパースペクトル画像20は、図5Aに示すような3次元配列の

データ構造に限らず、例えば図5Bに示すような2次元配列、または図5Cに示すような1次元配列のデータ構造を有していてもよい。図5Bの例では、N個の波長バンドの画像の情報が横方向に並び、各波長バンドの画像における $n \times m$ 画素の画素値が縦方向に並んでいる。図5Cの例では、全ての波長バンドの画像の全画素の画素値が1列に並んでいる。このように、ハイパースペクトル画像20のデータ構造は任意である。

[0041] 処理装置200によって生成されるハイパースペクトル画像20のデータを f とする。データ f は、N個のバンドのデータ f_1 、 f_2 、 \dots 、 f_N を統合したデータである。データ f_1 、 f_2 、 \dots 、 f_N の各々は、 $n \times m$ 個の画素値を有する。したがって、データ f は要素数 $n \times m \times N$ のデータである。一方、フィルタアレイ110によって符号化および多重化されて取得される圧縮画像10のデータ g の要素数は $n \times m$ である。データ g は、以下の式(1)によって表すことができる。

[数2]

$$g = Hf = H \begin{bmatrix} f_1 \\ f_2 \\ \vdots \\ f_N \end{bmatrix} \quad (1)$$

[0042] 式(1)におけるデータ f は、図5Cに示すように、1次元ベクトルとして表現されたハイパースペクトル画像のデータを表している。 f_1 、 f_2 、 \dots 、 f_N の各々は、 $n \times m$ 個の要素を有する。したがって、右辺のベクトルは、 $n \times m \times N$ 行1列の1次元ベクトルである。圧縮画像のデータ g は、 $n \times m$ 行1列の1次元ベクトルとして計算される。行列 H は、ベクトル f の各成分 f_1 、 f_2 、 \dots 、 f_N を波長バンドごとに異なる符号化情報で符号化および強度変調し、それらを加算する変換を表す。したがって、 H は、 $n \times m$ 行 $n \times m \times N$ 列の行列である。式(1)は、以下のように表すこともできる。

$$g = (pg_{11} \dots pg_{1m} \dots pg_{n1} \dots pg_{nm})^T = H (f_1 \dots f_N)^T$$

ここで、 $p_{g_{ij}}$ は、圧縮画像10の第*i*行第*j*列の画素値を表す。

[0043] 行列Hを示すデータは、復元演算の前に作成され、処理装置200のメモリ等の記憶装置に格納され得る。

[0044] ベクトルgと行列Hが与えられれば、式(1)の逆問題を解くことにより、データ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 $n \times m \times N$ が取得データgの要素数 $n \times m$ 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、処理装置200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。

[数3]

$$f' = \arg \min_f \{ \|g - Hf\|_2 + r\phi(f) \} \quad (2)$$

[0045] 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 Hf と取得データgとのずれ量、いわゆる残差項を表す。ここでは二乗和を残差項としているが、絶対値または二乗和平方根等を残差項としてもよい。括弧内の第2項は、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。式(2)における括弧内の関数を評価関数と呼ぶ。処理装置200は、再帰的な反復演算によって解を収束させ、評価関数を最小にするfを、最終的な解 f' として算出することができる。

[0046] 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Hによって変換した Hf との差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。この関数は、推定データを滑らかまたは安定にする効果をもたらす。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 70 のスパース性は、対象物 70 のテキスチャによって異なる。対象物 70 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。

[0047] なお、図 1 B および図 1 C の構成においては、フィルタアレイ 110 によって符号化された像は、イメージセンサ 160 の撮像面上でボケた状態で取得されうる。この場合、予めこのボケ情報を保有しておき、そのボケ情報を前述の行列 H に反映させることにより、ハイパースペクトル画像 20 を再構成することができる。ここで、ボケ情報は、点拡がり関数 (Point Spread Function: PSF) によって表される。PSF は、点像の周辺画素への拡がりの程度を規定する関数である。例えば、画像上で 1 画素に相当する点像が、ボケによってその画素の周囲の $k \times k$ 画素の領域に広がる場合、PSF は、その領域内の各画素の画素値への影響を示す係数群、すなわち行列として規定され得る。PSF による符号化パターンのボケの影響を、行列 H に反映させることにより、ボケが低減されたハイパースペクトル画像 20 を再構成することができる。フィルタアレイ 110 が配置される位置は任意であるが、フィルタアレイ 110 の符号化パターンが拡散しすぎて消失しない位置が選択され得る。

[0048] 以上の処理により、イメージセンサ 160 によって取得された圧縮画像 10 から、ハイパースペクトル画像 20 を復元することができる。ハイパースペクトル画像 20 の復元方法の詳細は、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。

[0049] 上記の例では、処理装置 200 がイメージセンサ 160 から出力された圧

縮画像 10 のデータに基づいてハイパースペクトル画像 20 を復元する。処理装置 200 の代わりに、撮像装置 100 における処理装置がハイパースペクトル画像 20 を復元する処理を行ってもよい。また、撮像装置 100 とネットワークを介して通信するクラウドサーバ等の外部コンピュータが、撮像装置 100 から取得した縮画像 10 のデータに基づいて、ハイパースペクトル画像 20 を復元する処理を行ってもよい。

[0050] 次に、撮像装置 100 の他の構成例を説明する。縮画像およびハイパースペクトル画像は、上記の複数の光学フィルタを含むフィルタアレイ 110 すなわち符号化マスクを用いた撮像とは異なる方法で撮像されることによって生成されてもよい。

[0051] 例えば、撮像装置 100 の構成として、イメージセンサ 160 に加工を施すことでイメージセンサ 160 の受光特性を画素ごとに変化させてもよい。当該加工が施されたイメージセンサ 160 を用いた撮像によっても、上記の例と同様に、縮画像を生成することができる。すなわち、フィルタアレイ 110 がイメージセンサ 160 に内蔵されている構成の撮像装置によって、縮画像が生成されてもよい。この場合、符号化情報はイメージセンサ 160 の受光特性に対応する。

[0052] また、光学系 140 の少なくとも一部にメタレンズ等の光学素子が導入されることで、光学系 140 の光学特性が空間的かつ波長的に変化し、それによってスペクトル情報が縮される構成を採用してもよい。当該構成を含む撮像装置によっても縮画像を生成することができる。この場合、符号化情報は、メタレンズ等の光学素子の光学特性に対応する情報となる。このように、フィルタアレイ 110 を用いた構成とは異なる構成の撮像装置 100 を用いて、入射光の強度を波長ごとに変調し、縮画像 10 およびハイパースペクトル画像 20 を生成してもよい。

[0053] 換言すると、光応答特性が互いに異なる複数の受光領域を含む撮像装置 100 の光応答特性に対応する符号化情報と、撮像装置 100 によって生成された縮画像 10 とに基づいて、縮画像 10 が含む信号数（例えば画素数

) よりも多くの信号数を含む復元画像を生成する構成も本開示に含まれる。前述のとおり、光応答特性は、イメージセンサの受光特性に対応していてもよく、また、光学素子の光学特性に対応していてもよい。

[0054] [2. 不均一照明を用いた撮像]

上記のような、圧縮画像に基づいてハイパースペクトル画像を復元する撮像システムにおいては、スペクトル強度が均一である照明光を用いて撮像が行われる。その理由は、照明光の強度が波長によって大きく異なると、イメージセンサの各画素に入射する光の強度に波長間で大きな差が生じ、その結果、復元精度が低下するからである。例えば、対象波長域に含まれる複数の波長バンドの間で照明光の強度に大きな差があると、上記の式(1)におけるデータ f の要素の大きさがバンド間で大きく異なり、その結果、ノイズの影響を強く受け、復元精度が低下すると考えられる。そのため、図1Aから図1Dに示す照明装置300は、スペクトル強度が均一な照明光を出射するように構成する。

[0055] しかしながら、本発明者らは、スペクトル強度が均一な照明光を用いて撮像した場合、対象物によっては、取得される圧縮画像における色境界のエッジが不明確になり、結果として復元精度が低下することがあることを見出した。この課題を、図6Aおよび図6Bを参照しながら説明する。

[0056] 図6Aは、縦横に延びる複数のストライプを含む色見本70Aを示す図である。図6Bは、図6Aに示す色見本70Aを、上記の撮像装置100で撮像した場合に得られる圧縮画像10Aの例を示す図である。図6Bには、左側に圧縮画像10Aを、右側にその部分拡大図を示している。図6Bに示す圧縮画像10Aは、照明装置300がスペクトル強度の均一な照明光を出射する条件で撮像することによって得られた。

[0057] 図6Aに示す色見本70Aは、縦方向に延びる異なる色の6本のストライプと、横方向に延びる異なる色の6本のストライプとを含んでいる。縦方向に延びるストライプの色は、左から順に、黄(Y)、青(B)、マゼンタ(M)、緑(G)、シアン(C)、赤(R)である。横方向に延びるストライ

プの色は、上から順に、赤（R）、シアン（C）、緑（G）、マゼンタ（M）、青（B）、黄（Y）である。横方向に延びるそれぞれの色のストライプは、縦方向に延びる同色のストライプとつながっており、縦方向に延びる異なる色の各ストライプの背面側に位置する。

[0058] 図6Aに示す色見本70Aを、均一なスペクトルの照明光で照明して撮像すると、図6Bに示すような圧縮画像10Aが取得される。図6Bの右側には、図6Bの点線枠で囲まれた領域の拡大図が示されている。この圧縮画像10Aでは、緑（G）の領域とマゼンタ（M）の領域との輝度値の差が小さく、これらの領域の境界が不明確である。一方、緑（G）の領域と青（B）の領域との境界は明確である。

[0059] このように、圧縮画像10Aでは、色が異なるはずの2つの領域の境界が不明確になる場合がある。その場合、圧縮画像10Aに基づくハイパースペクトル画像の復元精度が低下する。例えば、復元画像における色の境界がぼやけるといった課題が生じ得る。

[0060] 本発明者らは、このような新規の課題に直面し、この課題を解決するための撮像システムの構成を検討した。本発明者らは、あえてスペクトル強度が不均一である照明光を出射する照明装置300を用いて撮像することにより、上記の課題を解決し得ることを見出した。

[0061] すなわち、本実施形態における照明装置300は、スペクトル強度が不均一な照明光を出射するように構成される。ここでスペクトル強度が不均一とは、対象波長域に含まれる複数の波長バンドのうち、少なくとも2つの波長バンドの光の強度が異なることを表す。すなわち、対象波長域に含まれる複数の波長バンドが第1波長バンドと第2波長バンドとを含む場合、照明光に含まれる第1波長バンドの光の強度と、照明光に含まれる第2波長バンドの光の強度とが異なる。ここで、第*i*波長バンド（*i*は1以上の整数）の光の強度は、第*i*波長バンドにおける光の強度の波長に関する平均値であり得る。2つの波長バンドの光の強度が異なるとは、それらの光の強度の差が、強度が高い方の波長バンドの光の強度の20%よりも大きいことを意味する。

第1波長バンドの光の強度と第2波長バンドの光の強度は、30%以上異なってもよいし、40%以上異なってもよい。

[0062] 対象波長域は、画像復元の対象となる波長域、またはイメージセンサが検出する対象となる光の波長域であり得る。例えば、各バンドが10nmのバンド幅を有し、400nm~410nm、410nm~420nm、・・・690nm~700nmの30バンドの画像を圧縮画像から復元する場合、対象波長域は400nm~700nmであり得る。また、撮像装置100に含まれるフィルタアレイ110または他のフィルタ（例えばバンドパスフィルタ）によって、500nmよりも短い波長の光と、800nmよりも長い波長の光とが除去され、イメージセンサ160によって検出される光が500nm~800nmである場合、対象波長域は500nm~800nmであり得る。

[0063] スペクトル強度が不均一な照明光を用いることにより、圧縮画像において本来存在するはずの色の境界が不明確になることを抑制し、復元精度の低下を抑制することができる。

[0064] 図7Aから図7Dは、照明光の不均一なスペクトル強度の例を示すグラフである。図7Aは、対象波長域Wにおいて、波長の増加に応じて強度が単調に増加する照明光のスペクトル強度の例を示している。図7Bは、波長の増加に応じて強度が単調に減少する照明光のスペクトル強度の例を示している。図7Cは、波長の増加に応じて強度が一部の波長域を除いて減少する照明光のスペクトル強度の例を示している。図7Dは、波長の増加に応じて強度が大きく変動する照明光のスペクトル強度の例を示している。これらの図に示すように、照明装置300から出射される照明光のスペクトル強度は多様であり得る。照明光のスペクトル強度は、対象物の反射特性に応じて適切に決定される。

[0065] 図8は、本実施形態における撮像システム1000のより詳細な構成例を示すブロック図である。図8に示す撮像システムは、撮像装置100と、処理装置200と、照明制御回路350と、照明装置300と、表示装置40

0と、入力ユーザインターフェース（UI）500とを備える。

[0066] 撮像装置100は、イメージセンサ160と、イメージセンサ160を制御するセンサ制御回路150とを備える。図8には示されていないが、撮像装置100は、図1Aから図1Dに示すように、フィルタアレイ110および少なくとも1つの光学系140も備える。フィルタアレイ110および光学系140の配置は、図1Aから図1Dのいずれの配置であってもよい。フィルタアレイ110は、透過スペクトルが互いに異なる複数の領域を含む光学素子の一例である。イメージセンサ160は、フィルタアレイ110によって領域ごとに強度が波長に応じて変調された光を受け、当該光に基づくモノクロ画像すなわち圧縮画像を取得する。圧縮画像の各画素の値には、対象波長域に含まれる複数の波長バンドの情報が重畳されている。

[0067] 処理装置200は、復元演算回路250と、RAMおよびROMなどのメモリ210とを備える。復元演算回路250は、CPUまたはGPUなどの1つ以上のプロセッサを備える集積回路である。復元演算回路250は、イメージセンサ160から出力された圧縮画像に基づく復元演算を行う。この復元演算は、前述の式（2）に示す演算に相当する。

[0068] 図8に示す例では、入力UI500から入力された指示に従って撮影および復元処理が行われる。復元演算回路250は、対象波長域に含まれる全ての波長バンドについて、または入力UIを介して指定された一部の波長バンドについて、復元演算を実行する。メモリ210は、復元演算回路250に含まれるプロセッサが実行するコンピュータプログラム、復元演算回路250によって参照される各種のデータ、および復元演算回路250によって生成される各種のデータを記憶する。メモリ210は、撮像装置100におけるフィルタアレイ110の分光透過率の空間分布を反映したマスクデータを格納する。マスクデータは、上記の式（1）および（2）における行列を表す情報、または当該行列を導出するための情報（以下、「マスク行列情報」とも称する。）を含むデータである。マスク行列情報は、対象波長域に含まれる複数の単位バンドの各々についてのフィルタアレイ110の透過率の空

間分布に応じた複数の要素を有する行列形式または行列に準じた形式の情報であり得る。マスクデータは、予め作成され、メモリ 210 に格納される。

[0069] 照明装置 300 は、対象物に照射される照明光を出射する装置である。照明装置 300 は、1 つ以上の光源を含む。照明装置 300 は、光源から出射された光の強度を波長に応じて変調する光学フィルタを備えていてもよい。照明装置 300 は、圧縮画像において対象物のエッジが強調される不均一なスペクトル強度を有する照明光を出射するように構成され得る。照明装置 300 は、照明光のスペクトルを変化させる構成を備えていてもよい。例えば、照明装置 300 は、発光スペクトルの異なる複数種類の光源を備えていてもよい。あるいは、照明装置 300 は、透過スペクトルの異なる複数の光学フィルタと、それらの光学フィルタから選択された 1 つの光学フィルタを照明光の光路上に挿入する機械的機構とを備えていてもよい。

[0070] 照明制御回路 350 は、照明装置 300 の動作を制御する回路である。照明制御回路 350 は、イメージセンサ 160 による撮像と同期して照明装置 300 に照明光を出射させる。照明制御回路 350 は、入力 U1500 から撮影の指令が入力されると、照明装置 300 に照明光を出射させる。図 8 の例では、照明制御回路 350 は、処理装置 200 とは独立した回路であるが、処理装置 200 に含まれていてもよい。

[0071] 表示装置 400 は、画像処理回路 420 と、ディスプレイ 430 とを備える。画像処理回路 420 は、復元演算回路 250 によって復元された画像に必要な処理を施した上でディスプレイ 430 に表示させる。ディスプレイ 430 は、例えば液晶または有機 LED などの任意のディスプレイであり得る。

[0072] 入力 U1500 は、ユーザが撮影を指示したり、撮像条件および復元条件などの各種の条件を設定したりするためのハードウェアおよびソフトウェアを含む。入力 U1500 は、例えばキーボードおよびマウスなどの入力装置を含み得る。入力 U1500 は、タッチスクリーンなどの、入力および出力の両方が可能なデバイスによって実現されていてもよい。その場合、タッチ

スクリーンがディスプレイ430の機能も兼ねていてもよい。撮像条件は、例えば解像度、ゲイン、および露光時間などの条件を含み得る。復元条件は、例えば復元対象の複数の波長バンドを指定する条件、および計算回数などの条件を含み得る。入力された撮像条件は、撮像装置100の制御回路150に送られる。制御回路150は、撮像条件に従って、イメージセンサ160に撮像を実行させる。これにより、イメージセンサ160は、圧縮画像を生成する。また、入力された復元条件は、復元演算回路250に送られる。復元演算回路250は、設定された復元条件に従ってメモリ210からマスクデータを取得し、マスクデータと圧縮画像とに基づいて復元処理を行う。これにより、復元演算回路250は、指定された複数の波長バンドについてのスペクトル画像（すなわち復元画像）を生成する。

[0073] 生成されたスペクトル画像は、画像処理回路420に送られる。画像処理回路320は、ディスプレイ330に、複数の波長バンドのそれぞれについての復元画像を表示させる。画像処理回路420は、例えば、画面内での配置の決定、バンド情報との紐づけ、または波長に対応した色付けなどの処理を行った上で、スペクトル画像をディスプレイ430に表示させてもよい。

[0074] 図9は、メモリ210に保存されるマスクデータの例を示す図である。この例におけるマスクデータは、対象波長域に含まれる複数の単位バンドの各々についての透過率の空間分布を導出するためのマスク画像の情報を含む。この例におけるマスクデータは、1nmごとに分割された多数の単位バンドのそれぞれについてのマスク画像を含む。各単位バンドは、下限波長と上限波長とによって特定される。図9に示す各マスク画像は、対応する単位バンドの色を有する背景を、フィルタアレイ110を通してイメージセンサ120で撮像することによって取得される。このようなマスク画像のデータが、予め単位バンドごとに記録されている。なお、各単位バンドの幅は、1nmに限らず、任意の値に決定され得る。上記の行列Hの各要素は、図9に示す各マスク画像に含まれる複数の画素のそれぞれに対応する画素値に基づいて決定される。当該画素値に対して設定されたビット数の最大値によって、各

画素値を規格化したものを行列Hの各要素として決定してもよい。

[0075] 図10は、撮像システム1000の他の構成例を示すブロック図である。この例における処理装置200は、さらに、エッジ検出回路270を備えている。エッジ検出回路270は、イメージセンサ160から出力された圧縮画像に基づき、圧縮画像のエッジが強調されたエッジ画像を生成する。処理装置200は、生成されたエッジ画像を、表示装置400に表示させる。

[0076] 図11は、本実施形態における処理装置200の動作の例を示すフローチャートである。この例では、まず、処理装置200は、照明装置300からの不均一光で照明された対象物の圧縮画像を撮像装置100から取得する（ステップS110）。次に、処理装置200は、圧縮画像のエッジを検出する（ステップS120）。エッジの検出は、例えば圧縮画像にSobelフィルタ、ラプラシアンフィルタ、またはCannyフィルタなどのフィルタを用いたエッジ検出アルゴリズムを用いて行われ得る。あるいは、深層学習などの機械学習によって予め訓練された学習済みモデルを利用して圧縮画像からエッジの検出を行ってもよい。処理装置200は、エッジ検出の結果に基づき、圧縮画像におけるエッジが強調されたエッジ画像を生成する（ステップS130）。処理装置200は、ディスプレイ430に、圧縮画像およびエッジ画像を表示させる（ステップS140）。

[0077] 図12は、エッジ画像を生成する方法の一例を示す図である。この例では、処理装置200は、フィルタアレイ110の透過スペクトルの空間分布を反映したマスクデータと、圧縮画像とに基づいて、エッジ画像を生成する。具体的には、処理装置200は、マスクデータに含まれるバンドごとのマスク画像の各画素の平均画素値に基づいて圧縮画像から変換した画像に基づいてエッジ画像を生成する。図12の部分(a)には、複数のマスク画像が模式的に示されている。ここでは簡単のため、マスク画像における4×4画素の領域が模式的に示されている。図12の部分(b)は、複数のマスク画像の画素ごとの平均画素値の例を示している。各画素の平均画素値は、当該画素に対応するフィルタアレイ110の領域の平均透過率（すなわちバンドご

との透過率の平均値)に相当する。図12の部分(c)は、撮像装置100から出力される圧縮画像を模式的に示している。図12の部分(d)は、圧縮画像の各画素の画素値に、マスク画像における対応する画素における平均画素値(すなわち平均透過率)の逆数を乗算して得られる画像を模式的に示している。処理装置200は、このようにマスク画像の画素ごとの平均画素値の逆数で圧縮画像を重みづけした画像からエッジを検出し、図12の部分(e)に示すように、エッジ画像を生成してもよい。このような方法により、フィルタアレイ110の透過スペクトルが領域によって異なることによる影響を抑えることができる。このため、圧縮画像から直接エッジを検出する方法よりも、対象物のエッジをより正確に検出することができる。

[0078] 図13は、エッジ画像を生成する方法の他の例を示す図である。この例では、処理装置200は、圧縮画像およびマスク画像に基づいて復元されたスペクトル画像から、エッジ画像を生成する。処理装置200は、図13の部分(c)および(d)に示すように、復元されたスペクトル画像の1枚を選択し、その画像に基づいてエッジ画像を生成する。例えば、処理装置200は、スペクトル画像に含まれる全てのバンドの復元画像からエッジを検出し、最も多くのエッジが検出された1枚の復元画像を選択してもよい。あるいは、処理装置200は、スペクトル画像のうち、復元精度が最も高いと推定される中央のバンドに対応する復元画像を選択してもよい。

[0079] 図14は、エッジ画像を生成する方法のさらに他の例を示す図である。この例では、処理装置200は、図14の部分(c)および(d)に示すように、復元されたスペクトル画像に含まれる全てのバンドの復元画像の各画素の画素値を重み付け加算することによって1枚の画像を生成し、その画像からエッジ画像を生成する。重み付け加算は、単純に各画素の画素値を平均化(すなわち重みが一定)してもよいし、例えば緑色に対応するバンドの重みを大きくするなど、人間の比視感度に応じた重み付けを行ってもよい。

[0080] このように、処理装置200は、フィルタアレイ110の透過スペクトルの空間分布を反映したマスクデータと、複数の復元画像に含まれる1つ以上

の復元画像とに基づいて、エッジ画像を生成してもよい。これにより、対象物のエッジをより正確に検出することができる。

[0081] 次に、ステップS140における圧縮画像およびエッジ画像の表示例を説明する。以下に例示するように、処理装置200は、圧縮画像およびエッジ画像を表示装置400に表示させるように構成され得る。これにより、ユーザは、圧縮画像におけるエッジが明確であるか否かを判断することができ、エッジが不明確な場合に、照明装置300を調整して、エッジがより明確になるように照明光のスペクトルを変更することができる。そのような照明装置300の調整は、手動で行われてもよいし、処理装置200によって自動で行われてもよい。

[0082] 図15は、圧縮画像とエッジ画像の重畳表示の例を示す図である。処理装置200は、図16に示すように、圧縮画像とエッジ画像とを重畳した重畳画像40を生成して表示装置400に出力するように構成され得る。例えば、圧縮画像の上に、色を付けたエッジ画像を重畳した重畳画像40を生成してもよい。圧縮画像に重畳されるエッジ画像は、例えばエッジ領域の画素を黒、白、赤、または青など、エッジ以外の領域の画素と区別できる色で表現した画像であり得る。エッジ領域の近傍の画素も同様に色付けしてもよい。例えば、エッジ領域の画素に対してクロージング処理やオープニング処理などの画像処理を施すことによってエッジの幅を拡大して表示してもよい。

[0083] 図16は、圧縮画像10とエッジ画像30とが同一画面内に表示される例を示す図である。処理装置200は、図16に示すように、圧縮画像10とエッジ画像30とを並べて表示装置400に表示させてもよい。図16の例では、圧縮画像10とエッジ画像30とが隣り合って表示されているが、両者が画面上の離れた位置に表示されてもよい。圧縮画像10とエッジ画像30の表示開始のタイミングは同時でもよいし異なってもよい。このように、処理装置200は、圧縮画像10とエッジ画像30とを同一画面内に表示させるように構成され得る。エッジ画像30は、図15の例と同様、エッジ領域の画素とそれ以外の領域の画素とを色分けした画像である。エッジ画

像30は、例えばエッジ領域の画素を黒、白、赤、または青など、エッジ以外の領域の画素と区別できる色で表現した画像であり得る。

[0084] 図17は、圧縮画像とエッジ画像の表示のさらに他の例を示す図である。この例では、異なるスペクトルの照明光を用いた複数回の撮像が行われる。処理装置200は、複数回の撮像によって取得された複数の圧縮画像10Aおよび10Bと、それらに基づいて生成された複数のエッジ画像30Aおよび30Bとを、並べて表示装置400に表示させる。なお、図17に示すエッジ画像30Aおよび30Bは、それぞれ、圧縮画像10Aおよび10Bの各画素の輝度値を反映した濃淡もエッジを示す実線とともに表示しているが、この濃淡は表示されなくてもよい。処理装置200は、圧縮画像10Aおよび10Bと、エッジ画像30Aおよび30Bとを、同一画面内の離れた位置に表示させてもよい。圧縮画像10Aおよび10Bとエッジ画像30Aおよび30Bのそれぞれの画像の表示開始タイミングは同時でもよいし異なってもよい。

[0085] 図17の例では、照明装置300は、第1照明光と、第1照明光とはスペクトル形状の異なる第2照明光を出射するように構成される。ここで、「スペクトル形状」とは、ある基準の波長バンドの強度で各波長バンドの強度が規格化されたスペクトル（すなわち光強度の波長分布）の形状を意味する。これに対し、規格化されていないスペクトルにおける各波長バンドの強度を「スペクトル強度」と呼ぶ。あるスペクトルと、当該スペクトルにおける各波長バンドの強度が一律に定数倍されたスペクトルとの間では、スペクトル形状は同一であると解釈される。撮像装置100は、第1照明光に起因する対象物からの反射光を受けて第1圧縮画像10Aを生成し、第2照明光に起因する対象物からの反射光を受けて第2圧縮画像10Bを生成するように構成される。処理装置200は、第1圧縮画像10Aに基づいて第1エッジ画像30Aを生成し、第2圧縮画像10Bに基づいて第2エッジ画像30Bを生成するように構成される。

[0086] 図18は、圧縮画像とエッジ画像の表示のさらに他の例を示す図である。

この例では、処理装置200は、異なるスペクトルの照明光を用いた複数回の撮像によって取得された複数の圧縮画像10Aおよび10Bと、それらに基づいて生成された複数のエッジ画像間の差分を示す差分画像31Aおよび31Bとを、並べて表示装置400に表示させる。処理装置200は、図17に示すエッジ画像30Aに含まれる画素の画素値と、エッジ画像30Bに含まれ、かつエッジ画像30Aに含まれる画素のそれぞれと1:1に対応する画素の画素値との差を画素ごとに導出することにより、差分画像31Aおよび31Bを生成することができる。図18の例では、差分画像31Aおよび31Bにおいて、エッジが細い線で表示され、差分のあるエッジ領域が太線または点線で表示されている。差分画像は、差分のあるエッジ領域と差分のないエッジ領域とを色分けした画像であってもよい。例えば、差分のあるエッジ領域の画素を、黒、白、赤、または青などの、差分のない領域の画素と異なる色で表示してもよい。差分のあるエッジ領域の近傍の画素も同様に色付けしてもよい。例えば、差分のあるエッジ領域の画素に対して膨張・収縮処理などの画像処理を施すことによってエッジの幅を拡大して表示してもよい。なお、処理装置200は、圧縮画像10Aおよび10Bと、差分画像31Aおよび31Bとを、同一画面内の離れた位置に表示させてもよい。圧縮画像10Aおよび10Bと差分画像31Aおよび31Bのそれぞれの画像の表示開始タイミングは同時でもよいし異なってもよい。

[0087] 図19は、圧縮画像とエッジ画像の表示のさらに他の例を示す図である。この例では、処理装置200は、異なるスペクトルの照明光を用いた複数回の撮像によって取得された複数の圧縮画像10Aおよび10Bと、それらに基づいて生成された複数のエッジ画像30Aおよび30Bと、エッジ画像の差分を示す差分画像31Aおよび31Bとを、順番に切り替えて表示装置400に表示させる。図19に示す例に限らず、処理装置200は、圧縮画像、重畳画像、エッジ画像、差分画像から選択された2つ以上の画像を順次切り替えて表示させてもよい。また、圧縮画像、重畳画像、エッジ画像、差分画像のうちの2つ以上の組を同一画面内に（例えば同時に）表示させ、同一

画面内に表示される画像の組を切り替えてもよい。例えば、圧縮画像とエッジ画像の組、圧縮画像と重畳画像の組、圧縮画像と重畳画像と差分画像の組、または圧縮画像と差分画像の組を切り替えて表示してもよい。そのような表示により、ユーザが、圧縮画像におけるエッジが明確か否かを判断しやすくなる。

[0088] なお、図15から図19の各例において、処理装置200は、圧縮画像に基づいて復元されたハイパースペクトル画像（すなわち複数の復元画像）に含まれる1つ以上の復元画像も併せて表示装置400に表示させてもよい。

[0089] 次に、処理装置200が照明装置300からの照明光のスペクトルの調整を自動で行う例を説明する。

[0090] 図20は、処理装置200が、圧縮画像に基づいて照明装置300からの照明光のスペクトルの調整を自動で行う撮像システム1000の構成例を示すブロック図である。図20に示す撮像システム1000は、図10に示す構成要素に加えて、エッジ判定回路272を備えている。エッジ判定回路272は、エッジ検出回路270によって生成されたエッジ画像に基づき、照明光のスペクトルの変更の要否を判定する。例えば、エッジ判定回路272は、エッジ画像に含まれるエッジの量に基づいて、照明光のスペクトルの変更の要否を判定する。エッジ判定回路272は、照明光のスペクトルの変更が必要と判定した場合、照明制御回路350に、照明光のスペクトルの変更の指令を送る。照明制御回路350は、当該指令に応答して、照明装置300における光源を切り替えたり、光源から出射された光を変調する光学フィルタを切り替えたりすることにより、照明光のスペクトルを変更することができる。なお、エッジ検出回路270およびエッジ判定回路272の機能は、1つの処理回路によって実現されていてもよい。

[0091] エッジ判定回路272は、エッジ画像が所定の条件を満たすか否かを判定し、条件を満たさない場合、照明制御回路350に、照明光のスペクトルを変更するように指示する。条件は、例えば、圧縮画像から検出されたエッジのうち、途切れることなく連続しているエッジの最大の長さが一定値以上で

あるという条件であってもよい。あるいは、事前に用意した対象物の参照画像から生成された参照エッジ画像との類似度が一定値以上であるという条件であってもよい。参照画像は、事前に検査対象の対象物と同種の対象物を撮影した画像または当該対象物のCADデータであってもよい。

[0092] エッジ画像と参照エッジ画像との類似度は、例えば以下の方法によって計算され得る。まず、エッジ画像の輝度を $E(u, v)$ 、参照エッジ画像の輝度を $R(u, v)$ とする。ただし、 (u, v) は画素の座標を表し、エッジに該当する画素の輝度を 1、エッジに該当しない画素の輝度を 0 とする。類似度 S は、以下の式によって計算され得る。

[数4]

$$S = \frac{2 \sum E(u, v) R(u, v)}{\sum E(u, v) + \sum R(u, v)}$$

[0093] 類似度 S は、完全に一致していると 1、完全に異なっていると 0 の値をとる。

[0094] 図 21 は、処理装置 200 の動作の一例を示すフローチャートである。この例では、まず、処理装置 200 は、照明装置 300 からの光で照明された対象物の圧縮画像を撮像装置 100 から取得する（ステップ S210）。次に、処理装置 200 は、圧縮画像のエッジを検出する（ステップ S220）。エッジの検出方法は、前述のとおりである。処理装置 200 は、エッジ検出の結果に基づき、圧縮画像におけるエッジが強調されたエッジ画像を生成する（ステップ S230）。次に、処理装置 200 は、エッジ画像が所定の条件を満たすか否かを判定する（ステップ S240）。当該条件を満たす場合、処理装置 200 は、圧縮画像に基づいてハイパースペクトル（HS）画像を復元する（ステップ S250）。当該条件を満たさない場合、処理装置 200 は、照明光のスペクトルの変更を指示する制御信号を照明制御回路 350 に出力する（ステップ S260）。ステップ S260 の後、ステップ S210 に戻る。ステップ S210、S220、S230、S240、S26

0の動作が、ステップS240において所定の条件を満たすまで繰り返される。

[0095] ステップS240における所定の条件は、前述のように、例えば、エッジ画像において途切れることなく連続しているエッジの最大の長さが一定値以上であるという条件であり得る。あるいは、事前に用意した対象物の参照画像から生成された参照エッジ画像との類似度が一定値以上であるという条件であってもよい。

[0096] ステップS260における照明光のスペクトルの変更は、例えば、以下の(1)～(4)のいずれかの方法によって実現され得る。

(1) 事前に用意された出射光スペクトルの異なる複数の光源を切り替える(1つの光源を使用)。

(2) 事前に用意された出射光スペクトルの異なる複数の光源のそれぞれの出射パワーを変更する(複数の光源を組み合わせて使用)。

(3) 光源からの出射光の光路上に挿入される光学フィルタを変更する。

(4) 光源の切り替えと光学フィルタの変更とを併用する。

[0097] 上記の(3)または(4)の方法を採用する場合、撮像システム1000は、特定の光学フィルタを光路上に挿入するアクチュエータを含み、照明制御回路350は、処理装置200からの制御信号に応答してアクチュエータを駆動することにより、照明光のスペクトルを変更することができる。

[0098] このように、図21に示す例では、処理装置200は、イメージセンサ160によって取得された圧縮画像に基づいて、照明装置300があるスペクトルを有する照明光を出射するモードから、照明装置300が他のスペクトルを有する照明光を出射するモードへの切り替えの要否を判定する。例えば、処理装置200は、圧縮画像に含まれるエッジの量に基づいて、照明光の出射モードの切り替えの要否を判定する。あるいは、処理装置200は、撮像装置100を用いた撮像とは異なる方法によって生成された、対象物のエッジが強調された参照画像を取得し、圧縮画像に基づいて生成されたエッジ画像と、参照画像との比較に基づいて、照明光の出射モードの切り替えの要

否を判定してもよい。そのような動作により、エッジが明確な圧縮画像を取得することができるため、圧縮画像に基づくハイパースペクトル画像の復元精度を向上させることができる。

[0099] 図22は、処理装置200の動作の他の例を示すフローチャートである。この例におけるステップS210、S220、S230、S260は、図21に示す対応するステップと同じである。図22の例では、ステップS230の後、処理装置200は、全てのパターンの照明光を照射したかを判定する（ステップS340）。この判定がYesである場合、ステップS350に進む。この判定がNoの場合、ステップS260に進む。すなわち、ステップS210、S220、S230、S340、S260の動作が、ステップS340において全てのパターンの照明光を照射したと判定されるまで繰り返される。照明光のパターンの数は、2以上であり、ある例では10以上、他の例では20以上であり得る。全てのパターンの照明光を用いた撮像が完了した場合、処理装置200は、照明光ごとに生成したエッジ画像のうち、エッジ情報が最も多い照明光を選択する（ステップS350）。処理装置200は、選択した照明光を用いて取得された圧縮画像からハイパースペクトル画像を復元する（ステップS360）。

[0100] ステップS350における照明光の選択は、例えば以下の(a)～(d)のいずれかの方法で行われ得る。

(a) エッジとして検出された画素の数が最大のエッジ画像に対応する照明光を選択

(b) エッジとして検出された画素を連結した場合に長さが最大になるエッジを含むエッジ画像に対応する照明光を選択

(c) 事前に用意された対象物の参照画像に基づいて生成されたエッジ画像との類似度が最大のエッジ画像に対応する照明光を選択

[0101] このように、図22に示す例では、処理装置200は、スペクトルの異なる複数の照明光を用いた撮像を順次行うことによって生成された複数の圧縮画像に基づき、複数の圧縮画像のいずれに基づいてハイパースペクトル画像

すなわち複数の復元画像を生成するかを決定する。例えば、処理装置200は、複数の圧縮画像から生成した複数のエッジ画像に含まれるエッジの量の比較に基づき、複数の圧縮画像のいずれに基づいて複数の復元画像を生成するかを決定する。そのような処理により、エッジの明確な圧縮画像に基づいて複数の復元画像が生成されるため、復元精度を向上させることができる。

[0102] 以上の実施形態では、処理装置200は、対象波長域において不均一なスペクトルの照明光を用いた撮像によって取得された圧縮画像に基づいて複数の復元画像を生成する。そのような動作に限らず、処理装置200は、均一なスペクトルの照明光も利用して複数の復元画像を生成してもよい。その場合、不均一なスペクトルの照明光を用いた撮像は、最適な復元パラメータを決定するために行われ得る。そのような構成では、照明装置300は、互いにスペクトル形状の異なる第1照明光および第2照明光、ならびに対象波長域において光の強度が一定である第3照明光を出射するように構成され得る。ここで「光の強度が一定である」とは、厳密に一定であることを意味するのではなく、対象波長域における光の強度が、当該対象波長域における平均値の±20%以下の範囲内に収まっていることを意味する。以下、光の強度が一定である照明光を、「ほぼ均一なスペクトルの照明光」と表現することもある。撮像装置100は、第1照明光を用いた撮像によって第1圧縮画像を生成し、第2照明光を用いた撮像によって第2圧縮画像を生成し、第3照明光を用いた撮像によって第3圧縮画像を生成するように構成され得る。処理装置200は、第1圧縮画像、第2圧縮画像、および第3圧縮画像に基づき、複数の復元画像を生成するように構成され得る。

[0103] 図23は、均一なスペクトルの照明光も利用して復元画像を生成する撮像システム1000の構成例を示すブロック図である。この例では、処理装置200は、図20に示すエッジ判定回路272の代わりに、エッジ画像合成回路274を備えている。エッジ画像合成回路274は、複数種類の不均一なスペクトルの照明光を用いて撮影された複数の圧縮画像に基づく複数のエッジ画像から1枚の合成エッジ画像を生成する。エッジ画像合成回路274

は、例えば、複数のエッジ画像の間でOR演算を行うことによって合成エッジ画像を生成するように構成され得る。そのような合成エッジ画像は、少なくとも1つのエッジ画像で検出されたエッジの全てを含む。あるいは、エッジ画像合成回路274は、複数のエッジ画像のうちの閾値以上の枚数のエッジ画像においてエッジとして検出された画素をエッジ画素として合成することによって合成エッジ画像を生成してもよい。

[0104] 図23の例では、照明装置300は、対象波長域においてほぼ均一なスペクトルの照明光も出射できるように構成される。復元演算回路250は、ほぼ均一なスペクトルの照明光が照射された対象物を撮像して取得された圧縮画像と、合成エッジ画像とに基づいて、複数の復元画像を生成するように構成され得る。例えば、復元演算回路250は、合成エッジ画像に基づいて、複数の復元画像を生成するための復元パラメータを決定し、当該復元パラメータと圧縮画像とに基づいて、複数の復元画像を生成してもよい。復元パラメータは、例えば前述の式(2)の右辺の括弧内の第2項すなわち正規化項における重み係数 τ であり得る。正規化項は、例えばトータルバリエーション(TV)であり得る。復元演算回路250は、例えば合成エッジ画像においてエッジに該当する画素における重み係数 τ を、他の画素における値よりも小さくして復元演算を行うことにより、ハイパースペクトル画像の復元精度を向上させることができる。

[0105] 対象物のエッジは様々であり、エッジによって検出に適した照明光のスペクトルは異なる。例えば、対象物において水色と黄色の領域が接する場合、これを白または緑の照明光で照射してもエッジは検出しにくい。赤または青の照明光で照射するとエッジを検出しやすくなる。逆に、白と緑の領域が接する場合、これを白または緑の照明光で照射するとエッジを検出しやすいが、赤または青の照明光を照射してもエッジは検出しにくい。

[0106] そこで、本実施形態では、スペクトルの異なる複数種類の照明光を順次出射することで、それぞれのエッジを検出し、複数のエッジ画像を統合することで、画像全体のエッジを検出しやすくなる。また、画像復元

の際には、均一なスペクトルの照明光が有利であるため、処理装置200は、エッジ検出用の照明光と画像復元用の照明光とを切り替えることで、復元精度を向上させる。

[0107] 本実施形態のように、スペクトル画像の復元を、画像の滑らかさを示すトータルバリエーションなどの正則化項を最小化する演算で実現する場合、対象物の波長特性が異なるエッジ領域において復元精度が低下する。これは、正則化項を小さくするために、隣り合う2つの領域のスペクトルを近づけようとしてしまうためである。そこで、本実施形態では、処理装置200は、事前にエッジを求め、エッジの領域にける重み係数 τ を小さくする。これにより、隣り合う2つの領域のスペクトルを過度に近づけることを抑制し、復元精度を向上させることができる。

[0108] 図24は、本実施形態における処理装置200の動作の一例を示すフローチャートである。この例におけるステップS210、S220、S230、S260の動作は、図21および図22に示す対応するステップの動作と同じである。本実施形態では、ステップS230の後、処理装置200は、所定の枚数のエッジ画像を生成したか否かを判定する（ステップS440）。所定の枚数は、例えば照明装置300が出射可能なスペクトルの種類の数と同じ数またはそれ以下の2以上の数に設定され得る。この判定がYesの場合、ステップS450に進む。この判定がNoの場合、ステップS260に進む。ステップS210、S220、S230、S440、S260の処理が、ステップS440においてYesと判定されるまで繰り返される。所定の枚数のエッジ画像を生成すると、処理装置200は、生成した複数のエッジ画像を前述の方法で合成して合成エッジ画像を生成する（ステップS450）。次に、処理装置200は、対象波長域におけるスペクトルがほぼ均一な光で照明された対象物の圧縮画像を取得する。処理装置200は、スペクトルがほぼ均一な光で照明された対象物の圧縮画像と、合成エッジ画像とに基づき、ハイパースペクトル画像（すなわち複数の復元画像）を生成する（ステップS470）。ハイパースペクトル画像の生成は、前述のように、例

例えば、合成エッジ画像におけるエッジに対応する画素におけるトータルバリエーションの重み係数 τ を、他の画素における値よりも小さくして行われ得る。

[0109] 以上の処理により、複数の不均一なスペクトルの照明光を用いた撮像によって取得された複数の圧縮画像から、エッジ領域を高精度に検出し、その検出結果を利用して、高品質のハイパースペクトル画像を生成することができる。

[0110] 前述の各実施形態においては、1つ以上の圧縮画像に基づいてエッジを検出する処理と、複数の復元画像を生成する処理とが、1つの処理装置200によって実行される。このような形態に限らず、エッジを検出する処理装置と、復元画像を生成する処理装置とが分散されていてもよい。例えば、撮像システム1000は、エッジを検出する処理装置を備え、復元画像を生成する処理装置を備えていなくてもよい。その場合、復元画像を生成する処理は、撮像システム1000とネットワークを介して接続されたクラウドサーバなどの外部の装置によって実行され得る。撮像システム1000は、そのような外部の装置と通信を行う通信装置を備え得る。

[0111] 本開示は、実際に照明装置300および対象物を用意することなく、事前に用意されたデータに基づくシミュレーションによって圧縮画像およびエッジ画像を生成し、想定される対象物に応じた最適な照明光のスペクトルを決定するシステムも含む。以下、そのようなシステムの例を説明する。

[0112] 図25は、想定される対象物に応じた最適な照明光のスペクトルを決定するシステム2000の構成例を示すブロック図である。このシステム2000は、処理装置200と、表示装置400と、入力UI500とを備える。処理装置200は、メモリ210と、処理回路280とを含む。

[0113] 入力UI500は、想定される対象物の分光反射特性に関する第1データを入力するためのインターフェースである。第1データは、例えば、対象物の領域または画素ごとの分光反射率の値を有するデータである。第1データは、対象物の領域ごとの分光反射率の値を有するCADデータであってもよい。

- 。
- [0114] メモリ210は、対象物に照射される照明光のスペクトルに関する第2データと、対象物を撮像する撮像装置100の各画素の分光感度特性に関する第3データを格納する。第2データは、例えば前述の照明装置300が出射可能な複数の照明光のスペクトルを示すデータであり得る。第3データは、例えば前述のフィルタアレイ110の分光透過率の空間分布を反映したマスクデータであり得る。なお、第2データおよび第3データは、入力U1500から入力されてもよい。
- [0115] 処理回路280は、第1データ、第2データ、および第3データを取得し、それらのデータに基づき、照明光が照射された対象物を撮像装置100が撮像した場合に生成されると推定される推定画像を生成する。この推定画像は、仮想的な圧縮画像に相当する。処理回路280は、推定画像に基づいて前述の方法でエッジ画像を生成し、表示装置400にエッジ画像を表示させる。
- [0116] ここで、対象物の表面上の位置に対応する推定画像の画素の位置座標を(x , y)、波長を λ として、第1データ、第2データ、および第3データのそれぞれは、位置座標(x , y)および波長 λ に依存する関数を示すデータ(例えばテーブル)であり得る。第1データが対象物の分光反射率 $\rho(x, y, \lambda)$ を示し、第2データが照明光の強度 $I(x, y, \lambda)$ を示し、第3データが撮像装置100の分光感度 $s(x, y, \lambda)$ を示すものとする。第3データは、前述のマスクデータに相当する。 ρ 、 I 、 s は、いずれも0から1の範囲に規格化されている。推定画像の座標(x , y)における輝度値 $L(x, y)$ は、 $\sum \rho(x, y, \lambda) I(x, y, \lambda) s(x, y, \lambda)$ に最大画素値(例えば255または1023等)を乗じる演算によって求めることができる。なお、最大画素値を乗じることなく、 $\sum \rho(x, y, \lambda) I(x, y, \lambda) s(x, y, \lambda)$ を輝度値 $L(x, y)$ としてもよい。ここで Σ は波長 λ についての総和(理想的には積分)を表す。処理回路280は、当該演算を行うことによって、推定画像すなわち仮想的な圧縮画像の各画

素の輝度値 L を計算することができる。

[0117] 図26は、対象物70の分光反射率の例を示す図である。図26には、対象物70の表面上の2箇所における分光反射率が例示されている。この図に示すように、分光反射率は、対象物70の位置によって異なり得る。したがって、分光反射率の空間分布を示す第1データは、各画素に波長数分の反射率の値を有するデータであり得る。あるいは、第1データは、CADデータにおける各ボクセルに波長数分の反射率の値を有するデータであってもよい。

[0118] 図27は、処理回路280によって実行される処理の例を示すフローチャートである。この例では、まず、処理回路280は、入力U1500またはメモリ210から、対象物の分光反射率データ（第1データ）、照明光のスペクトルデータ（第2データ）、およびマスクデータ（第3データ）を取得する（ステップS510）。次に、処理回路280は、対象物の分光反射率データ、照明光のスペクトルデータ、およびマスクデータに基づいて、上記の方法で推定画像を生成する（ステップS520）。処理回路280は、推定画像からエッジを検出する（ステップS530）。エッジを検出する処理は、図11に示すステップS120の処理と同様である。処理回路280は、エッジ検出の結果に基づき、推定エッジ画像を生成する（ステップS540）。推定エッジ画像を生成する処理は、図11に示すステップS130の処理と同様である。処理回路280は、ディスプレイ430に推定エッジ画像を表示させる（ステップS550）。

[0119] 上記の動作により、ユーザは、表示された推定エッジ画像に基づいて、照明光のスペクトルが対象物のスペクトル画像の生成に適しているか否かを判断することができる。照明光のスペクトルが適切でない場合、ユーザは、入力U1500を操作して、他の照明光のスペクトルを選択して、図27に示す動作を再び処理回路280に実行させてもよい。そのような操作を繰り返すことにより、最適な照明光のスペクトルを決定することができる。

[0120] 処理回路280は、推定エッジ画像が所定の条件を満たすまで、照明光の

スペクトルデータを変更する処理を行ってもよい。すなわち、推定画像の生成と、推定エッジ画像の生成とを、照明光のスペクトルデータを変更して繰り返してもよい。所定の条件は、図 21 に示すステップ S 240 における条件と同様である。その場合、複数種類の照明光のスペクトルデータが予めメモリ 210 に格納される。

[0121] また、処理回路 280 は、図 22 に示す例と同様に、複数の照明光のスペクトルデータに基づいて複数の推定画像を生成し、複数の推定画像の比較に基づいて、最もエッジが強調される照明光を最適な照明光として決定してもよい。

[0122] 処理装置 200 は、エッジ画像の代わりに、あるいはエッジ画像に加えて、最適な照明光を示す情報をディスプレイ 430 に表示してもよい。そのような情報を表示することにより、ユーザが最適な照明光を選択することができる。

[0123] [付記]

本開示は、上述した実施形態に限定されるものではない。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形態に施したもの、当業者が思いつく各種変形を各変形例に施したもの、異なる実施形態における構成要素を組み合わせて構築される形態、異なる変形例における構成要素を組み合わせて構築される形態、任意の実施形態における構成要素と任意の変形例における構成要素を組み合わせて構築される形態も、本開示の範囲内に含まれる。

[0124] 以上の実施の形態の記載により、以下の技術が開示される。

[0125] (技術 1)

対象物に照射される照明光を出射する照明装置と、

前記照明光に起因する前記対象物からの反射光を受け、対象波長域に含まれる複数の波長バンドの画像情報が 1 つの画像情報として圧縮された圧縮画像を生成する撮像装置と、

前記圧縮画像に基づき、それぞれが前記複数の波長バンドの異なる 1 つに

対応する複数の復元画像を生成する処理装置と、
を備え、

前記複数の波長バンドは、第1波長バンドおよび第2波長バンドを含み、
前記照明光に含まれる前記第1波長バンドの光の強度と、前記照明光に含まれる前記第2波長バンドの光の強度とが異なる、
撮像システム。

[0126] (技術2)

前記照明光の強度は、前記対象波長域において、波長の増加に応じて単調に増加または減少する、技術1に記載の撮像システム。

[0127] (技術3)

前記処理装置は、前記圧縮画像に基づき、前記圧縮画像のエッジが強調されたエッジ画像をさらに生成する、技術1または2に記載の撮像システム。

[0128] (技術4)

前記処理装置は、前記エッジ画像および前記圧縮画像を、表示装置に表示させる、技術3に記載の撮像システム。

[0129] (技術5)

前記撮像装置は、透過スペクトルが互いに異なる複数の領域を含む光学素子と、前記光学素子を通過した光を受けて前記圧縮画像を生成するイメージセンサとを備え、

前記処理装置は、前記光学素子の前記透過スペクトルの空間分布を反映したマスクデータと、前記圧縮画像とに基づいて、前記エッジ画像を生成する、

技術3または4に記載の撮像システム。

[0130] (技術6)

前記撮像装置は、透過スペクトルが互いに異なる複数の領域を含む光学素子と、前記光学素子を通過した光を受けて前記圧縮画像を生成するイメージセンサとを備え、

前記処理装置は、前記光学素子の前記透過スペクトルの空間分布を反映し

たマスクデータと、前記複数の復元画像に含まれる1つ以上の復元画像とに基づいて、前記エッジ画像を生成する、

技術3または4に記載の撮像システム。

[0131] (技術7)

前記処理装置は、前記圧縮画像と前記エッジ画像とを重畳した重畳画像を生成して出力する、技術3または4に記載の撮像システム。

[0132] (技術8)

前記照明装置は、前記照明光を第1照明光として出射し、さらに、前記第1照明光とはスペクトル形状の異なる第2照明光を出射するように構成され、

前記撮像装置は、前記圧縮画像を第1圧縮画像として生成し、さらに、前記第2照明光に起因する前記対象物からの反射光を受け、前記複数の波長バンドの画像情報が1つの画像情報として圧縮された第2圧縮画像を生成するように構成され、

前記処理装置は、

前記エッジ画像を第1エッジ画像として生成し、

さらに、前記第2圧縮画像に基づいて、第2エッジ画像を生成し、

前記第1エッジ画像および前記第2エッジ画像の差を示す差分画像を生成して出力する、技術3または4に記載の撮像システム。

[0133] (技術9)

前記照明装置は、前記照明光を第1照明光として出射し、さらに、前記第1照明光とはスペクトル形状の異なる第2照明光を出射するように構成され、

前記撮像装置は、前記圧縮画像を第1圧縮画像として生成し、さらに、前記第2照明光に起因する前記対象物からの反射光を受け、前記複数の波長バンドの画像情報が1つの画像情報として圧縮された第2圧縮画像を生成するように構成され、

前記処理装置は、前記第1圧縮画像に基づき、前記照明装置が前記第1照

明光を出射するモードから、前記照明装置が前記第 2 照明光を出射するモードへの切り替えの要否を判定する、

技術 1 または 2 に記載の撮像システム。

[0134] (技術 1 0)

前記処理装置は、

前記第 1 圧縮画像に基づき、前記第 1 圧縮画像のエッジが強調された第 1 エッジ画像を生成し、

前記第 1 エッジ画像に含まれるエッジの量に基づいて、前記照明装置が前記第 1 照明光を出射するモードから、前記照明装置が前記第 2 照明光を出射するモードへの切り替えの要否を判定する、

技術 9 に記載の撮像システム。

[0135] (技術 1 1)

前記処理装置は、

前記撮像装置を用いた撮像とは異なる方法によって生成された、前記対象物のエッジが強調された参照画像を取得し、

前記第 1 エッジ画像と、前記参照画像との比較に基づいて、前記照明装置が前記第 1 照明光を出射するモードから、前記照明装置が前記第 2 照明光を出射するモードへの切り替えの要否を判定する、技術 1 0 に記載の撮像システム。

[0136] (技術 1 2)

前記照明装置は、前記照明光を第 1 照明光として出射し、さらに、前記第 1 照明光とはスペクトル形状の異なる第 2 照明光を出射するように構成され、

前記撮像装置は、前記圧縮画像を第 1 圧縮画像として生成し、さらに、前記第 2 照明光に起因する前記対象物からの反射光を受け、前記複数の波長バンドの画像情報が 1 つの画像情報として圧縮された第 2 圧縮画像を生成するように構成され、

前記処理装置は、前記第 1 圧縮画像および前記第 2 圧縮画像に基づき、前

記第 1 圧縮画像および前記第 2 圧縮画像のいずれに基づいて前記複数の復元画像を生成するかを決定する、

技術 1 または 2 に記載の撮像システム。

[0137] (技術 1 3)

前記処理装置は、

前記第 1 圧縮画像に基づき、前記第 1 圧縮画像のエッジが強調された第 1 エッジ画像を生成し、

前記第 2 圧縮画像に基づき、前記第 2 圧縮画像のエッジが強調された第 2 エッジ画像を生成し、

前記第 1 エッジ画像に含まれるエッジの量と前記第 2 エッジ画像に含まれるエッジの量との比較に基づき、前記第 1 圧縮画像および前記第 2 圧縮画像のいずれに基づいて前記複数の復元画像を生成するかを決定する、

技術 1 2 に記載の撮像システム。

[0138] (技術 1 4)

前記照明装置は、前記照明光を第 1 照明光として出射し、さらに、前記第 1 照明光とはスペクトル形状の異なる第 2 照明光、および前記対象波長域において光の強度が一定である第 3 照明光を出射するように構成され、

前記撮像装置は、前記圧縮画像を第 1 圧縮画像として生成し、さらに、前記第 2 照明光に起因する前記対象物からの反射光を受け、前記複数の波長バンドの画像情報が 1 つの画像情報として圧縮された第 2 圧縮画像を生成し、前記第 3 照明光に起因する前記対象物からの反射光を受け、前記複数の波長バンドの画像情報が 1 つの画像情報として圧縮された第 3 圧縮画像を生成するように構成され、

前記処理装置は、前記第 1 圧縮画像、前記第 2 圧縮画像、および前記第 3 圧縮画像に基づき、前記複数の復元画像を生成する、

技術 1 または 2 に記載の撮像システム。

[0139] (技術 1 5)

前記処理装置は、

前記第 1 圧縮画像に基づき、前記第 1 圧縮画像のエッジが強調された第 1 エッジ画像を生成し、

前記第 2 圧縮画像に基づき、前記第 2 圧縮画像のエッジが強調された第 2 エッジ画像を生成し、

前記第 1 エッジ画像および前記第 2 エッジ画像に基づいて、前記複数の復元画像を生成するための復元パラメータを決定し、

前記復元パラメータおよび前記第 3 圧縮画像に基づいて、前記複数の復元画像を生成する、

技術 1 4 に記載の撮像システム。

[0140] (技術 1 6)

コンピュータによって実行される方法であって、

対象物に照射される照明光を照明装置に出射させることと、

前記照明光に起因する前記対象物からの反射光を受け、対象波長域に含まれる複数の波長バンドの画像情報が 1 つの画像情報として圧縮された圧縮画像を生成する撮像装置に、前記圧縮画像を生成させることと、

を含み、

前記複数の波長バンドは、第 1 波長バンドおよび第 2 波長バンドを含み、

前記照明光に含まれる前記第 1 波長バンドの光の強度と、前記照明光に含まれる前記第 2 波長バンドの光の強度とが異なる、

方法。

[0141] (技術 1 7)

前記圧縮画像に基づき、それぞれが前記複数の波長バンドの異なる 1 つに対応する複数の復元画像を生成することをさらに含む、技術 1 6 に記載の方法。

[0142] (技術 1 8)

コンピュータによって実行される方法であって、

対象物の分光反射特性に関する第 1 データを取得することと、

前記対象物に照射される照明光のスペクトルに関する第 2 データを取得す

ることと、

前記対象物を撮像する撮像装置の各画素の分光感度特性に関する第3データを取得することと、

前記第1データ、前記第2データ、および前記第3データに基づき、前記照明光が照射された前記対象物を前記撮像装置が撮像した場合に生成されると推定される推定画像を生成することと、

を含む方法。

[0143] (技術19)

前記推定画像のエッジが強調されたエッジ画像を生成して出力することをさらに含む、技術18に記載の方法。

[0144] (技術20)

前記推定画像に基づいて、前記照明光のスペクトルが、前記対象物のスペクトル画像の生成に適しているか否かを判定することをさらに含む、技術18に記載の方法。

産業上の利用可能性

[0145] 本開示の技術は、例えば、多波長または高解像度の画像を取得するカメラおよび測定機器に有用である。本開示の技術は、例えば、生体・医療・美容向けセンシング、食品の異物・残留農薬検査システム、リモートセンシングシステムおよび車載センシングシステムにも応用できる。

符号の説明

- [0146] 10 圧縮画像
20 ハイパースペクトル画像
20W₁、20W₂、・・・、20W_N 復元画像
30 エッジ画像
40 重畳画像
70 対象物
100 撮像装置
110 フィルタアレイ

- 140、140A、140B 光学系
- 160 イメージセンサ
- 200 処理装置
- 210 メモリ
- 220 センサ制御回路
- 250 復元演算回路
- 270 エッジ検出回路
- 280 処理回路
- 300 照明装置
- 350 照明制御回路
- 400 出力装置
- 420 画像処理回路
- 430 ディスプレイ
- 500 入力UI
- 1000 撮像システム

請求の範囲

- [請求項1] 対象物に照射される照明光を出射する照明装置と、
前記照明光に起因する前記対象物からの反射光を受け、対象波長域に含まれる複数の波長バンドの画像情報が1つの画像情報として圧縮された圧縮画像を生成する撮像装置と、
前記圧縮画像に基づき、それぞれが前記複数の波長バンドの異なる1つに対応する複数の復元画像を生成する処理装置と、
を備え、
前記複数の波長バンドは、第1波長バンドおよび第2波長バンドを含み、
前記照明光に含まれる前記第1波長バンドの光の強度と、前記照明光に含まれる前記第2波長バンドの光の強度とが異なる、
撮像システム。
- [請求項2] 前記照明光の強度は、前記対象波長域において、波長の増加に応じて単調に増加または減少する、請求項1に記載の撮像システム。
- [請求項3] 前記処理装置は、前記圧縮画像に基づき、前記圧縮画像のエッジが強調されたエッジ画像をさらに生成する、請求項1または2に記載の撮像システム。
- [請求項4] 前記処理装置は、前記エッジ画像および前記圧縮画像を、表示装置に表示させる、請求項3に記載の撮像システム。
- [請求項5] 前記撮像装置は、透過スペクトルが互いに異なる複数の領域を含む光学素子と、前記光学素子を通過した光を受けて前記圧縮画像を生成するイメージセンサとを備え、
前記処理装置は、前記光学素子の前記透過スペクトルの空間分布を反映したマスクデータと、前記圧縮画像とに基づいて、前記エッジ画像を生成する、
請求項3に記載の撮像システム。
- [請求項6] 前記撮像装置は、透過スペクトルが互いに異なる複数の領域を含む

光学素子と、前記光学素子を通過した光を受けて前記圧縮画像を生成するイメージセンサとを備え、

前記処理装置は、前記光学素子の前記透過スペクトルの空間分布を反映したマスクデータと、前記複数の復元画像に含まれる1つ以上の復元画像とに基づいて、前記エッジ画像を生成する、

請求項3に記載の撮像システム。

[請求項7] 前記処理装置は、前記圧縮画像と前記エッジ画像とを重畳した重畳画像を生成して出力する、請求項3に記載の撮像システム。

[請求項8] 前記照明装置は、前記照明光を第1照明光として出射し、さらに、前記第1照明光とはスペクトル形状の異なる第2照明光を出射するように構成され、

前記撮像装置は、前記圧縮画像を第1圧縮画像として生成し、さらに、前記第2照明光に起因する前記対象物からの反射光を受け、前記複数の波長バンドの画像情報が1つの画像情報として圧縮された第2圧縮画像を生成するように構成され、

前記処理装置は、

前記エッジ画像を第1エッジ画像として生成し、

さらに、前記第2圧縮画像に基づいて、第2エッジ画像を生成し、

前記第1エッジ画像および前記第2エッジ画像の差を示す差分画像を生成して出力する、請求項3に記載の撮像システム。

[請求項9] 前記照明装置は、前記照明光を第1照明光として出射し、さらに、前記第1照明光とはスペクトル形状の異なる第2照明光を出射するように構成され、

前記撮像装置は、前記圧縮画像を第1圧縮画像として生成し、さらに、前記第2照明光に起因する前記対象物からの反射光を受け、前記複数の波長バンドの画像情報が1つの画像情報として圧縮された第2圧縮画像を生成するように構成され、

前記処理装置は、前記第1圧縮画像に基づき、前記照明装置が前記

第1照明光を出射するモードから、前記照明装置が前記第2照明光を出射するモードへの切り替えの要否を判定する、

請求項1または2に記載の撮像システム。

[請求項10]

前記処理装置は、

前記第1圧縮画像に基づき、前記第1圧縮画像のエッジが強調された第1エッジ画像を生成し、

前記第1エッジ画像に含まれるエッジの量に基づいて、前記照明装置が前記第1照明光を出射するモードから、前記照明装置が前記第2照明光を出射するモードへの切り替えの要否を判定する、

請求項9に記載の撮像システム。

[請求項11]

前記処理装置は、

前記撮像装置を用いた撮像とは異なる方法によって生成された、前記対象物のエッジが強調された参照画像を取得し、

前記第1エッジ画像と、前記参照画像との比較に基づいて、前記照明装置が前記第1照明光を出射するモードから、前記照明装置が前記第2照明光を出射するモードへの切り替えの要否を判定する、

請求項10に記載の撮像システム。

[請求項12]

前記照明装置は、前記照明光を第1照明光として出射し、さらに、前記第1照明光とはスペクトル形状の異なる第2照明光を出射するように構成され、

前記撮像装置は、前記圧縮画像を第1圧縮画像として生成し、さらに、前記第2照明光に起因する前記対象物からの反射光を受け、前記複数の波長バンドの画像情報が1つの画像情報として圧縮された第2圧縮画像を生成するように構成され、

前記処理装置は、前記第1圧縮画像および前記第2圧縮画像に基づき、前記第1圧縮画像および前記第2圧縮画像のいずれに基づいて前記複数の復元画像を生成するかを決定する、

請求項1または2に記載の撮像システム。

[請求項13] 前記処理装置は、
前記第1圧縮画像に基づき、前記第1圧縮画像のエッジが強調された第1エッジ画像を生成し、
前記第2圧縮画像に基づき、前記第2圧縮画像のエッジが強調された第2エッジ画像を生成し、
前記第1エッジ画像に含まれるエッジの量と前記第2エッジ画像に含まれるエッジの量との比較に基づき、前記第1圧縮画像および前記第2圧縮画像のいずれに基づいて前記複数の復元画像を生成するかを決定する、
請求項12に記載の撮像システム。

[請求項14] 前記照明装置は、前記照明光を第1照明光として出射し、さらに、前記第1照明光とはスペクトル形状の異なる第2照明光、および前記対象波長域において光の強度が一定である第3照明光を出射するように構成され、
前記撮像装置は、前記圧縮画像を第1圧縮画像として生成し、さらに、前記第2照明光に起因する前記対象物からの反射光を受け、前記複数の波長バンドの画像情報が1つの画像情報として圧縮された第2圧縮画像を生成し、前記第3照明光に起因する前記対象物からの反射光を受け、前記複数の波長バンドの画像情報が1つの画像情報として圧縮された第3圧縮画像を生成するように構成され、
前記処理装置は、前記第1圧縮画像、前記第2圧縮画像、および前記第3圧縮画像に基づき、前記複数の復元画像を生成する、
請求項1または2に記載の撮像システム。

[請求項15] 前記処理装置は、
前記第1圧縮画像に基づき、前記第1圧縮画像のエッジが強調された第1エッジ画像を生成し、
前記第2圧縮画像に基づき、前記第2圧縮画像のエッジが強調された第2エッジ画像を生成し、

前記第1エッジ画像および前記第2エッジ画像に基づいて、前記複数の復元画像を生成するための復元パラメータを決定し、

前記復元パラメータおよび前記第3圧縮画像に基づいて、前記複数の復元画像を生成する、

請求項14に記載の撮像システム。

[請求項16]

コンピュータによって実行される方法であって、

対象物に照射される照明光を照明装置に出射させることと、

前記照明光に起因する前記対象物からの反射光を受け、対象波長域に含まれる複数の波長バンドの画像情報が1つの画像情報として圧縮された圧縮画像を生成する撮像装置に、前記圧縮画像を生成させることと、

を含み、

前記複数の波長バンドは、第1波長バンドおよび第2波長バンドを含み、

前記照明光に含まれる前記第1波長バンドの光の強度と、前記照明光に含まれる前記第2波長バンドの光の強度とが異なる、

方法。

[請求項17]

前記圧縮画像に基づき、それぞれが前記複数の波長バンドの異なる1つに対応する複数の復元画像を生成することをさらに含む、請求項16に記載の方法。

[請求項18]

コンピュータによって実行される方法であって、

対象物の分光反射特性に関する第1データを取得することと、

前記対象物に照射される照明光のスペクトルに関する第2データを取得することと、

前記対象物を撮像する撮像装置の各画素の分光感度特性に関する第3データを取得することと、

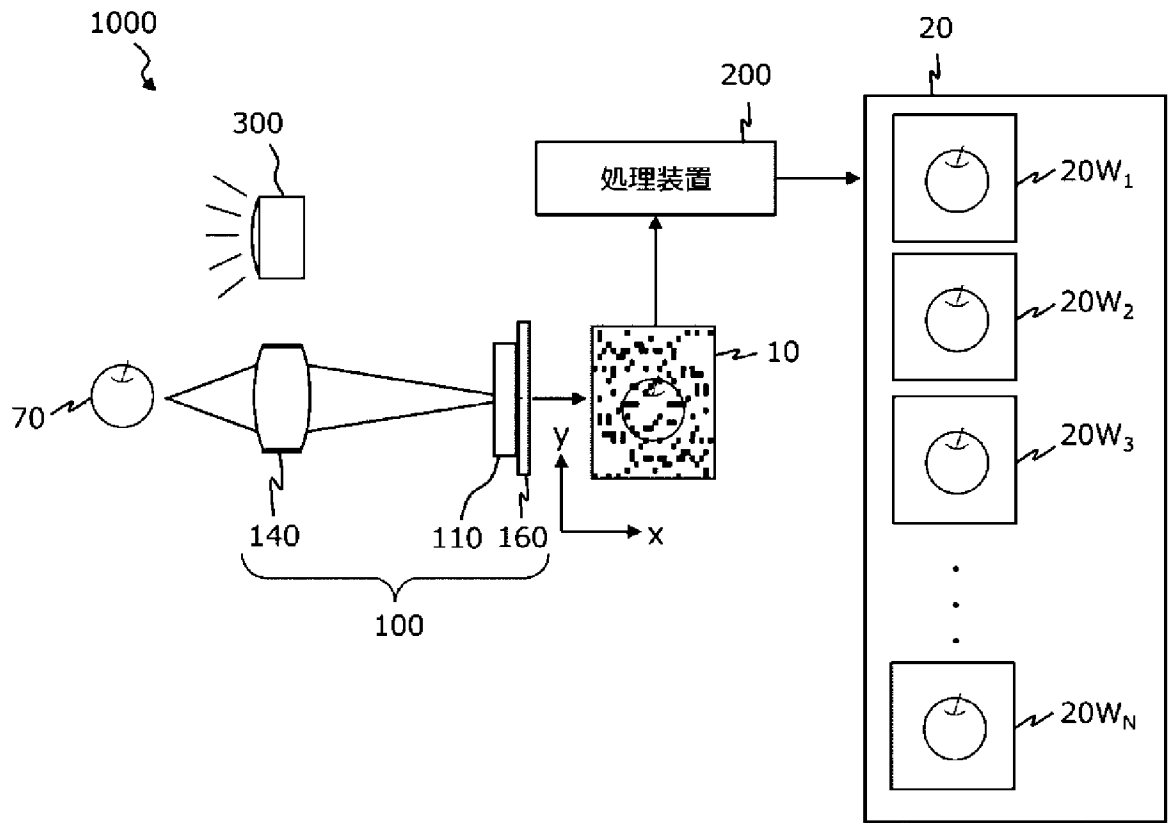
前記第1データ、前記第2データ、および前記第3データに基づき、前記照明光が照射された前記対象物を前記撮像装置が撮像した場合

に生成されると推定される推定画像を生成することと、
を含む方法。

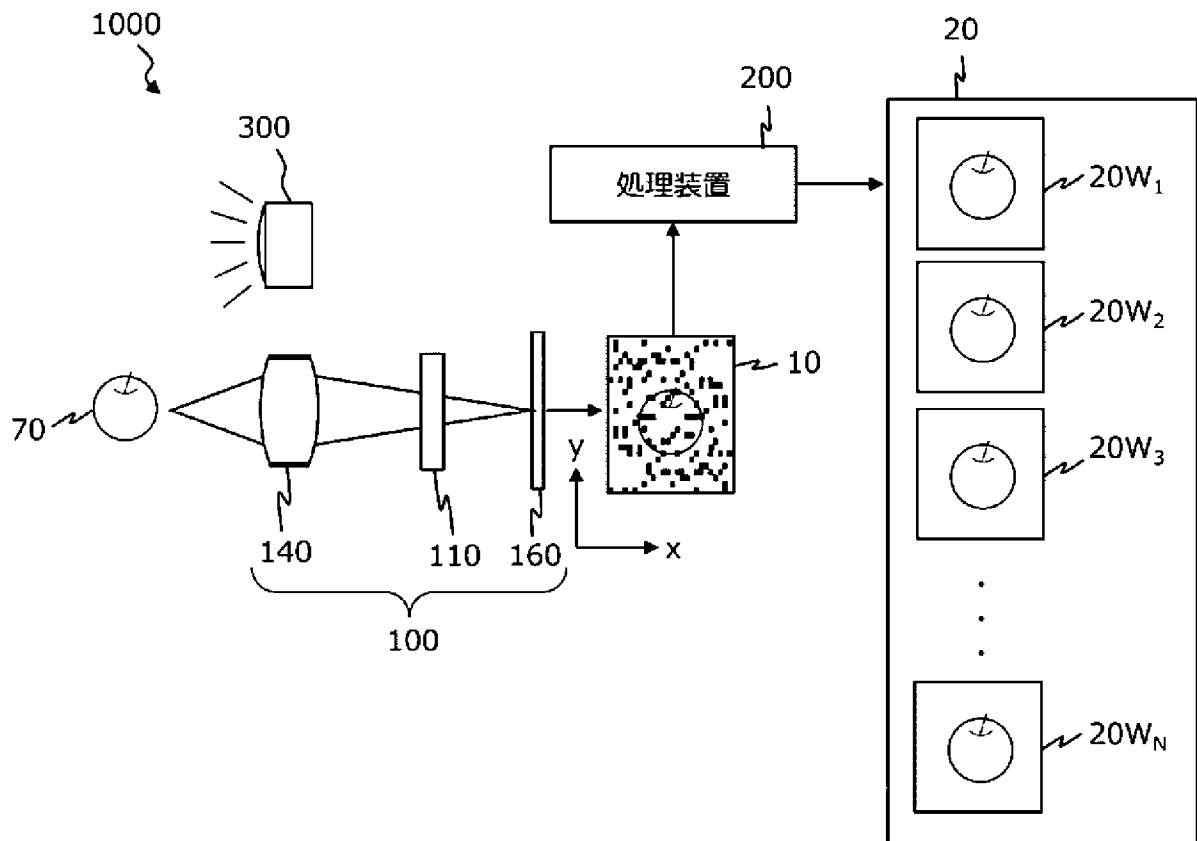
[請求項19] 前記推定画像のエッジが強調されたエッジ画像を生成して出力することをさらに含む、請求項18に記載の方法。

[請求項20] 前記推定画像に基づいて、前記照明光のスペクトルが、前記対象物のスペクトル画像の生成に適しているか否かを判定することをさらに含む、請求項18に記載の方法。

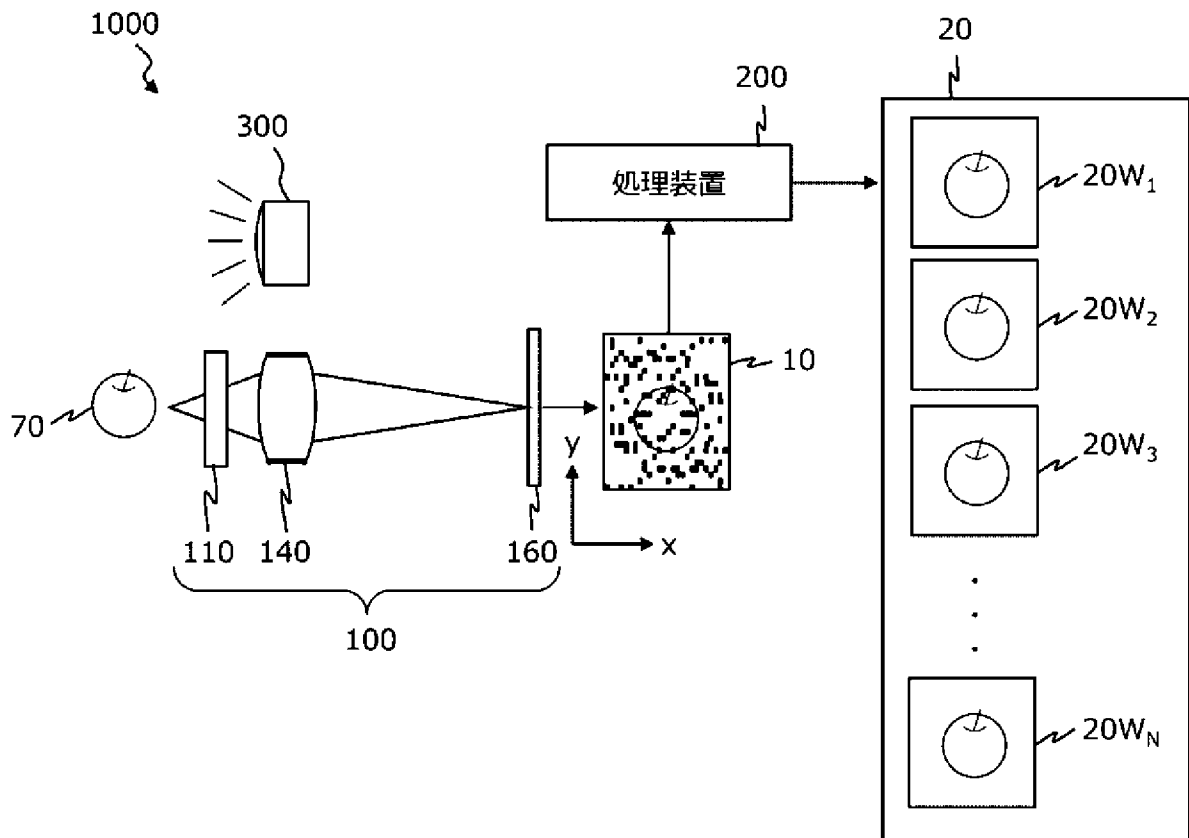
[図1A]



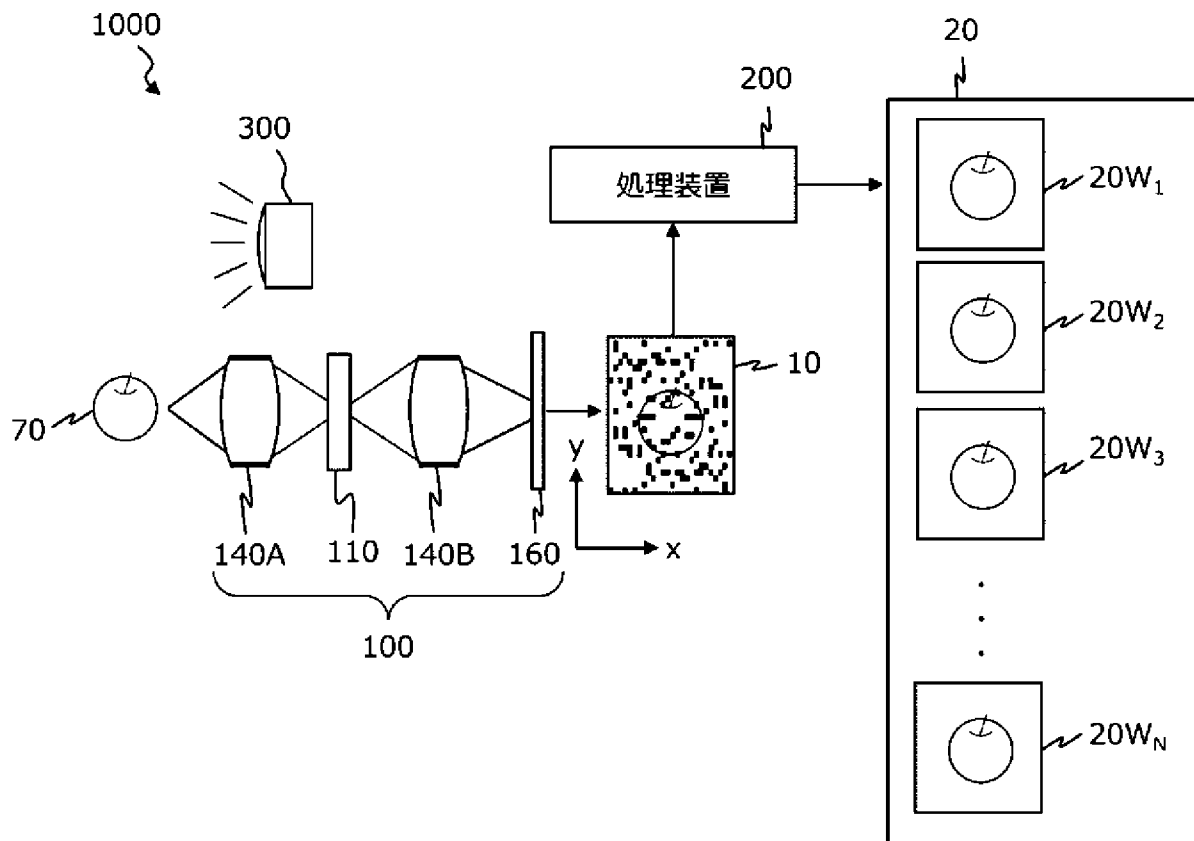
[図1B]



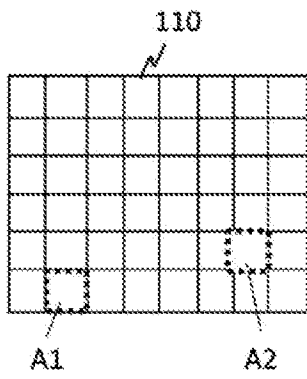
[图1C]



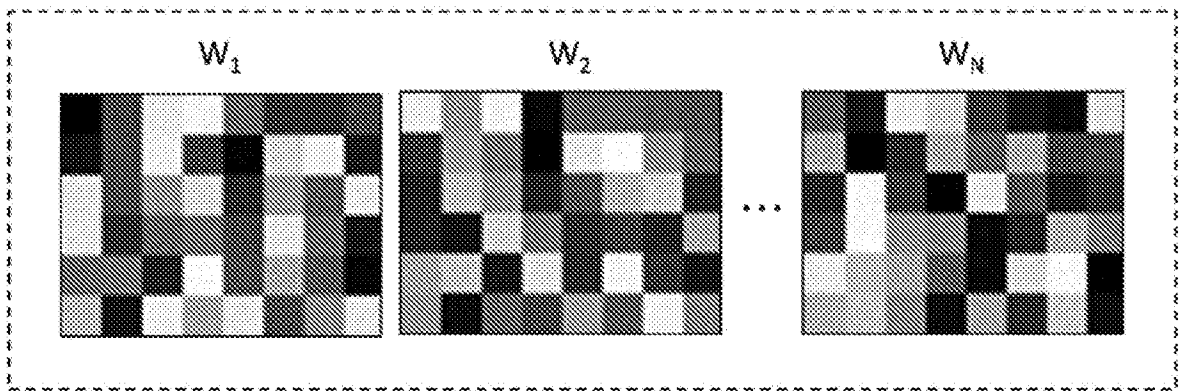
[图1D]



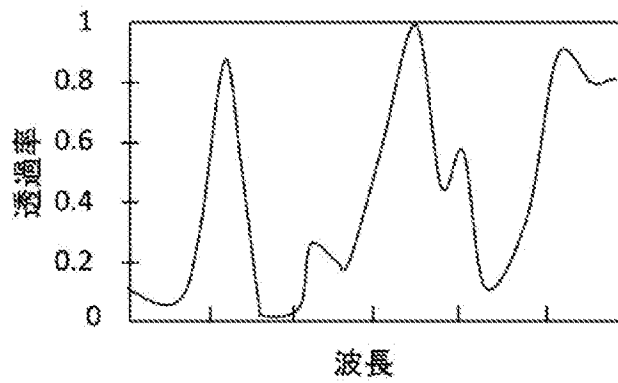
[図2A]



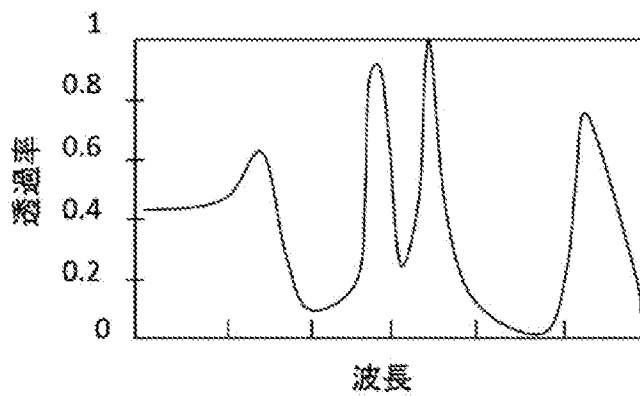
[図2B]



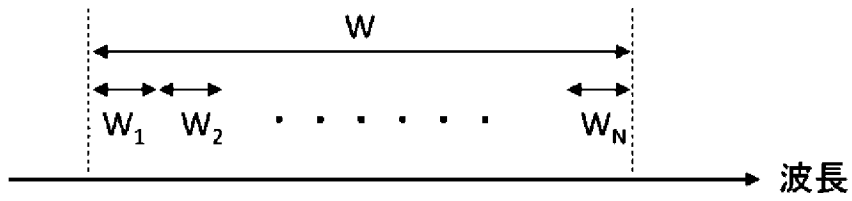
[図2C]



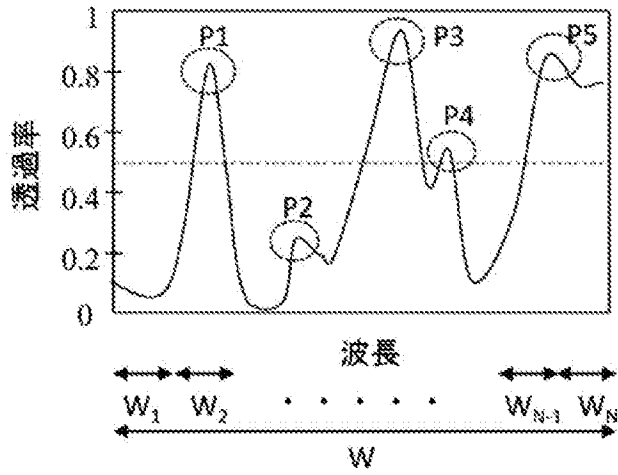
[図2D]



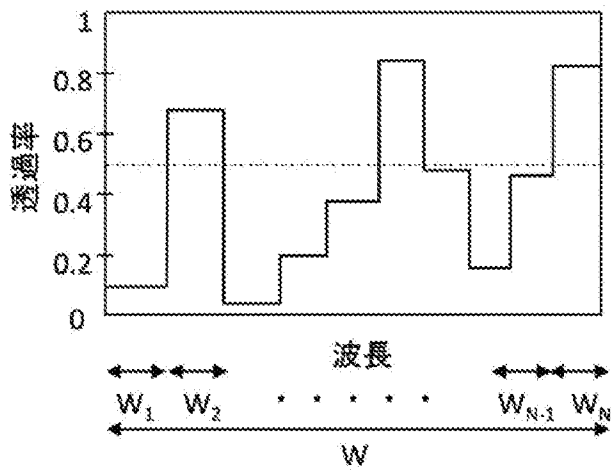
[図3]



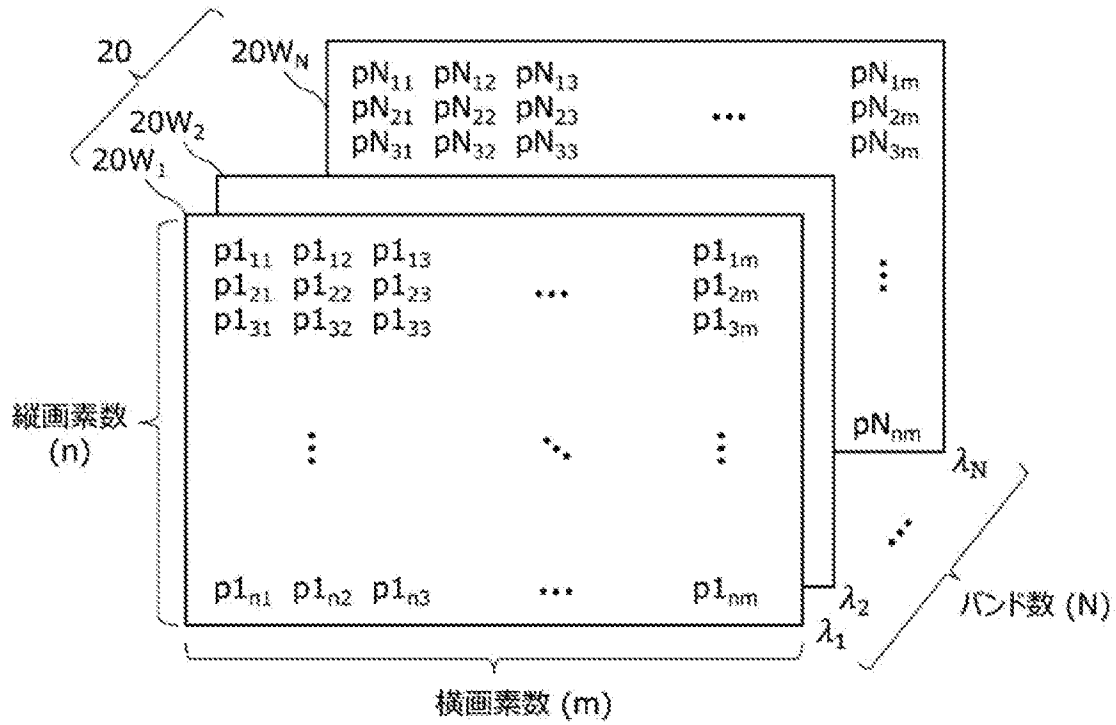
[図4A]



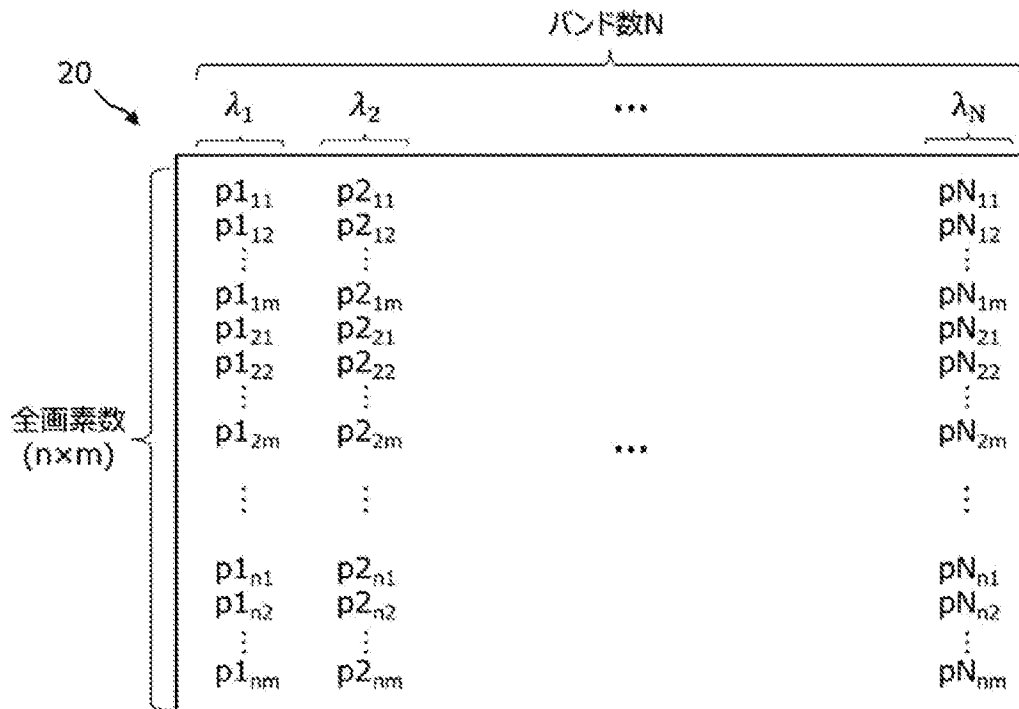
[図4B]



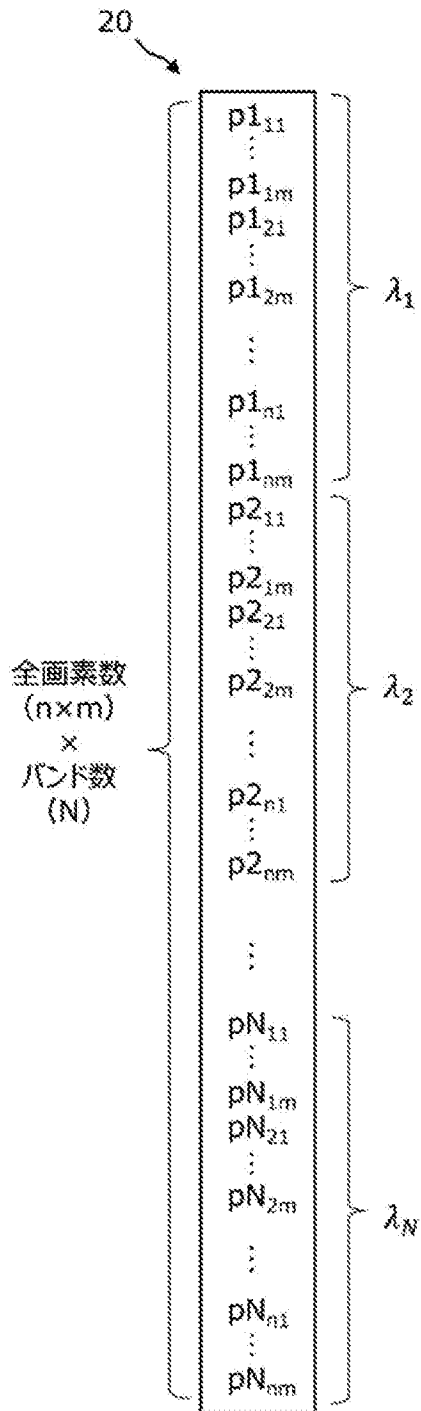
[図5A]



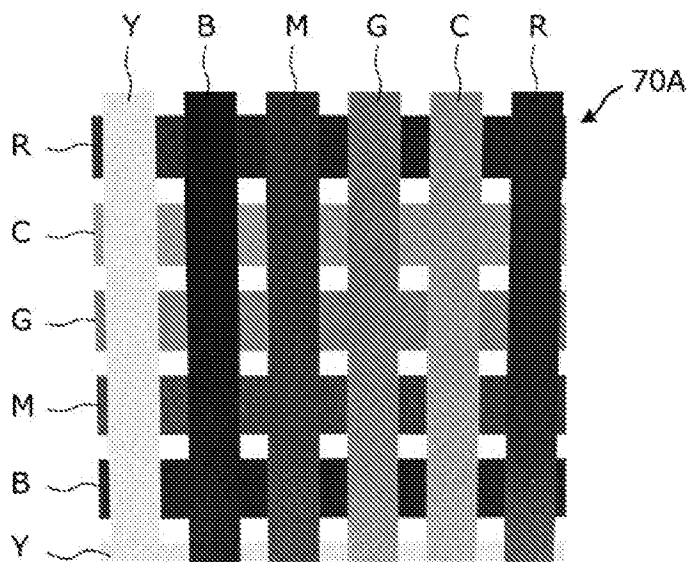
[図5B]



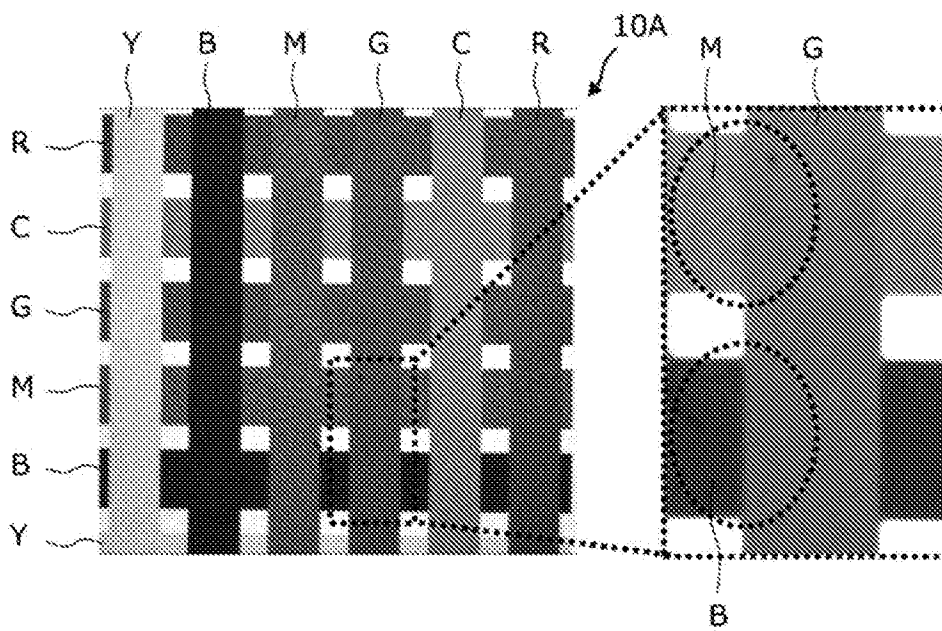
[図5C]



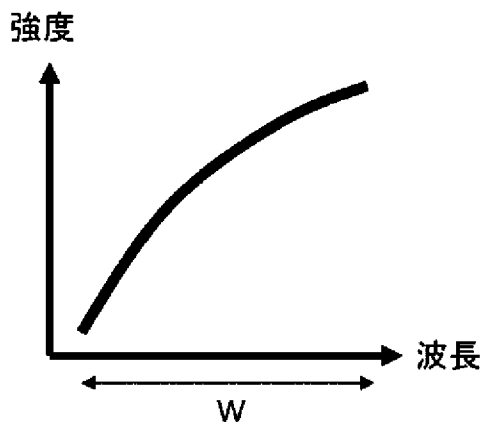
[図6A]



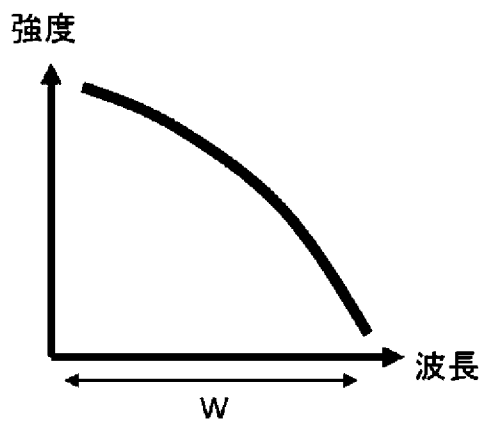
[図6B]



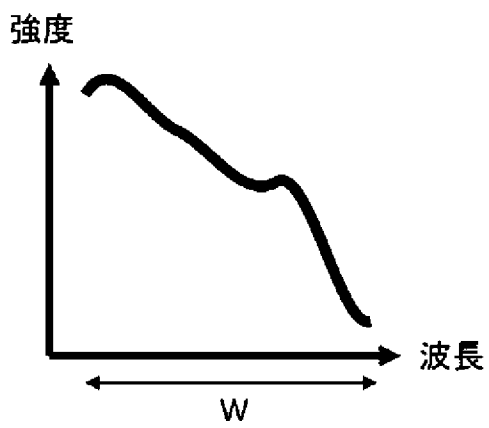
[図7A]



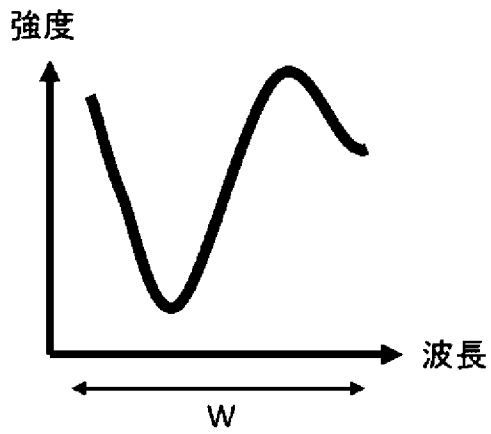
[図7B]



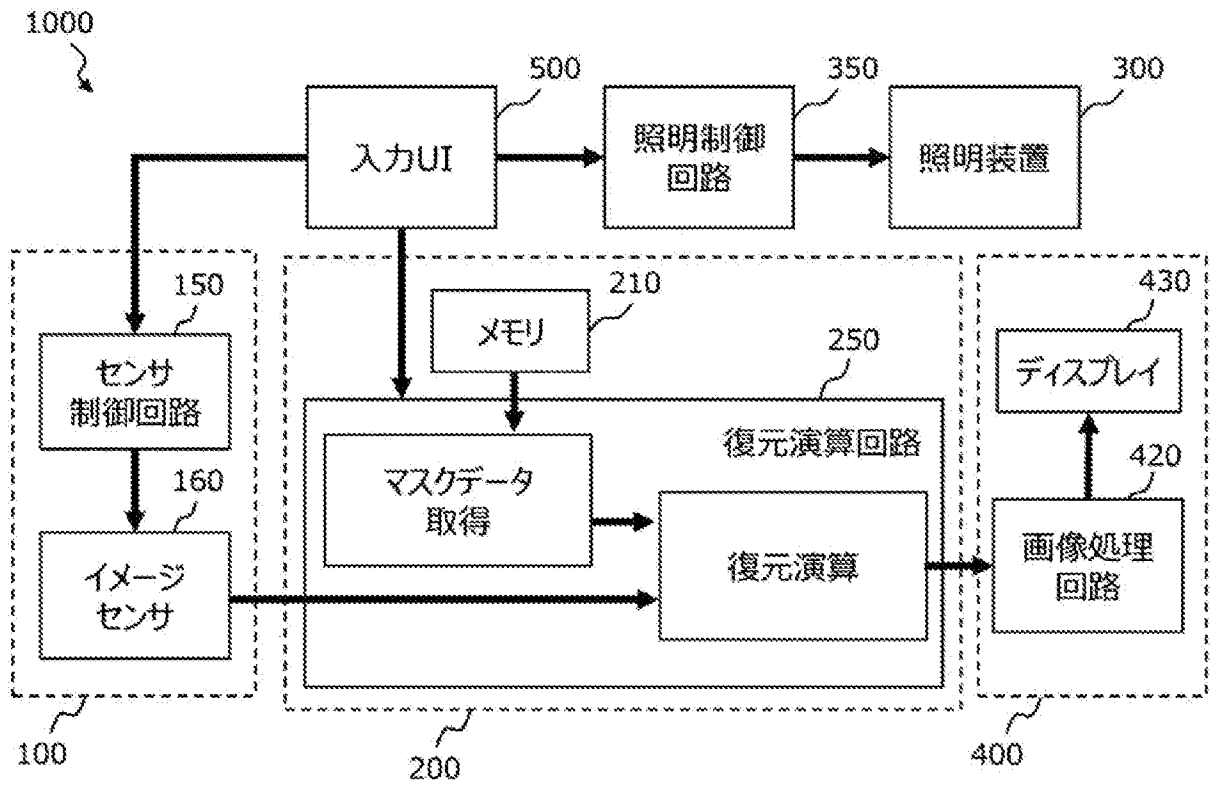
[図7C]








[図7D]



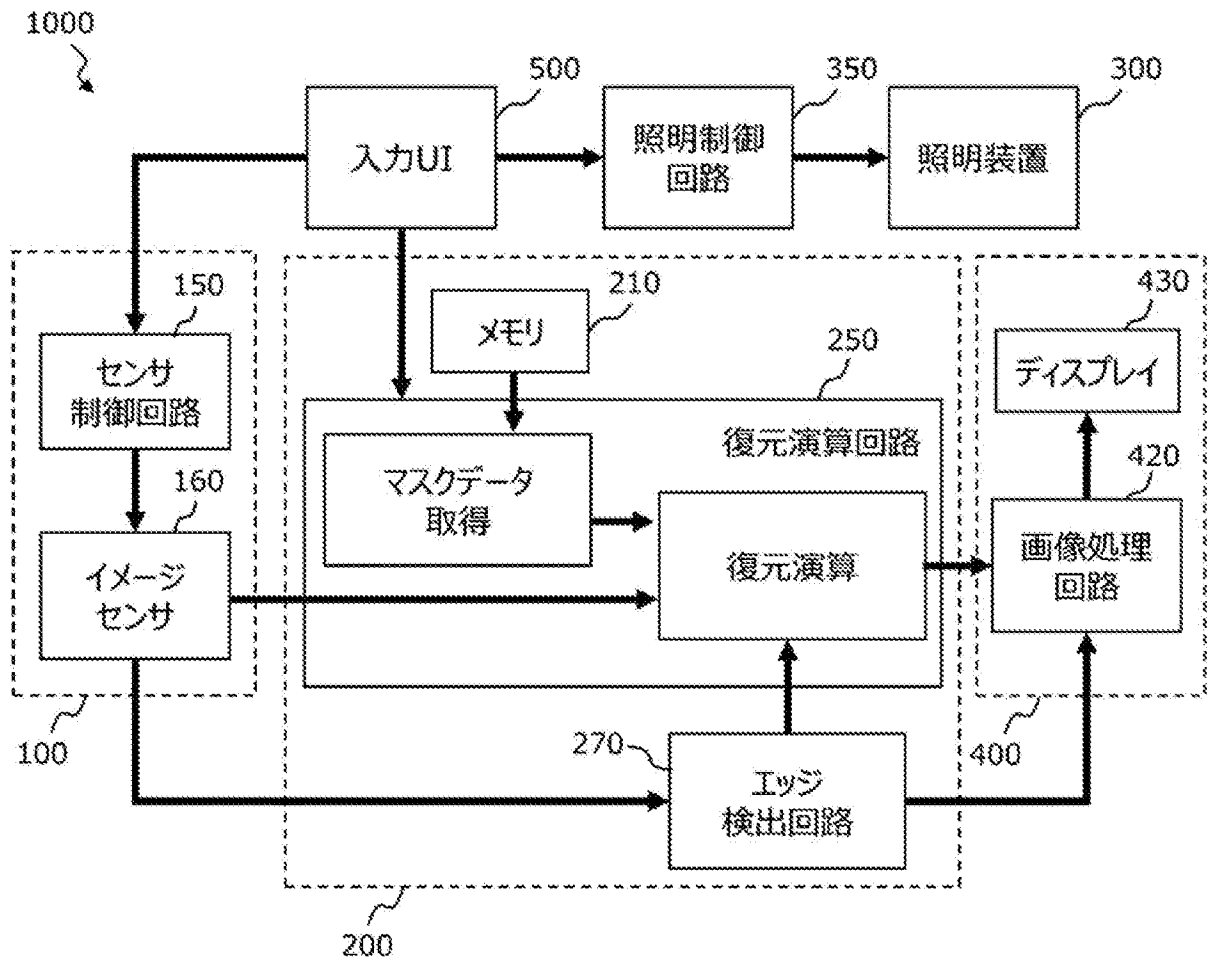
[図8]



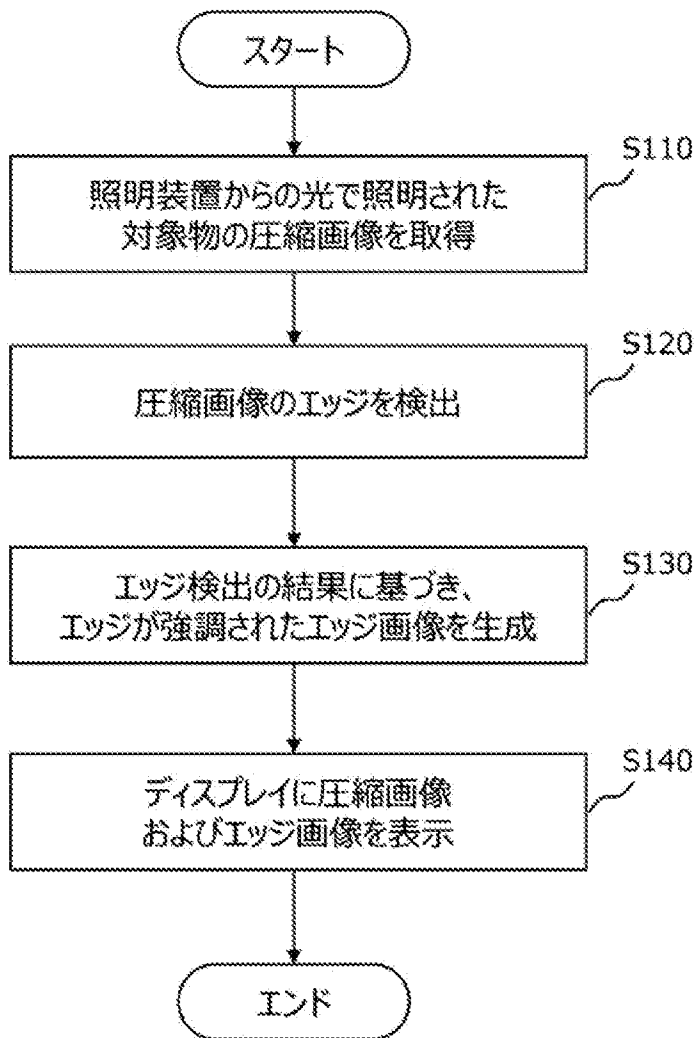
[図9]

単位バンド 下限波長	単位バンド 上限波長	マスク画像
⋮	⋮	⋮
400	401	
401	402	
402	403	
403	404	
404	405	
⋮	⋮	⋮

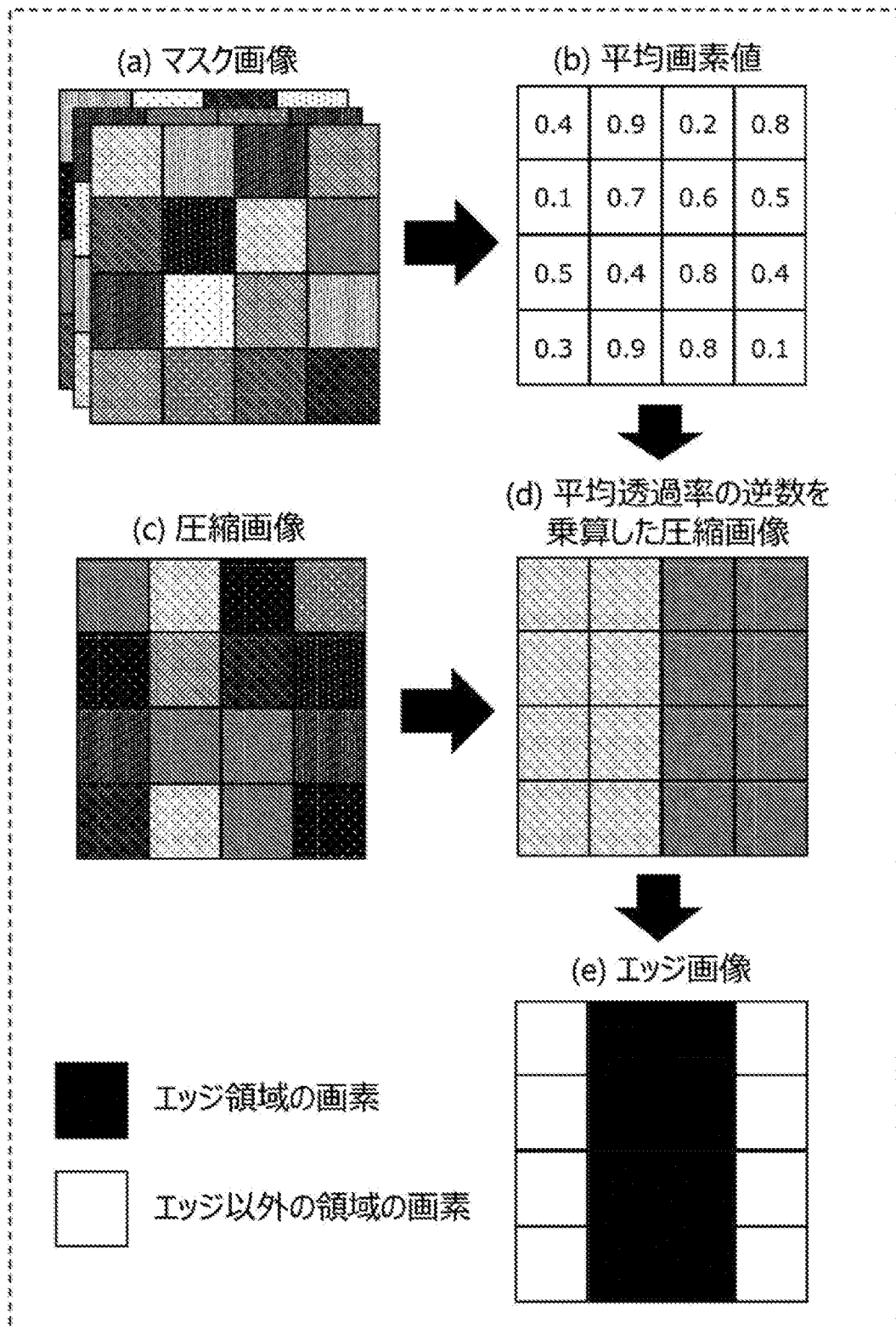
[図10]



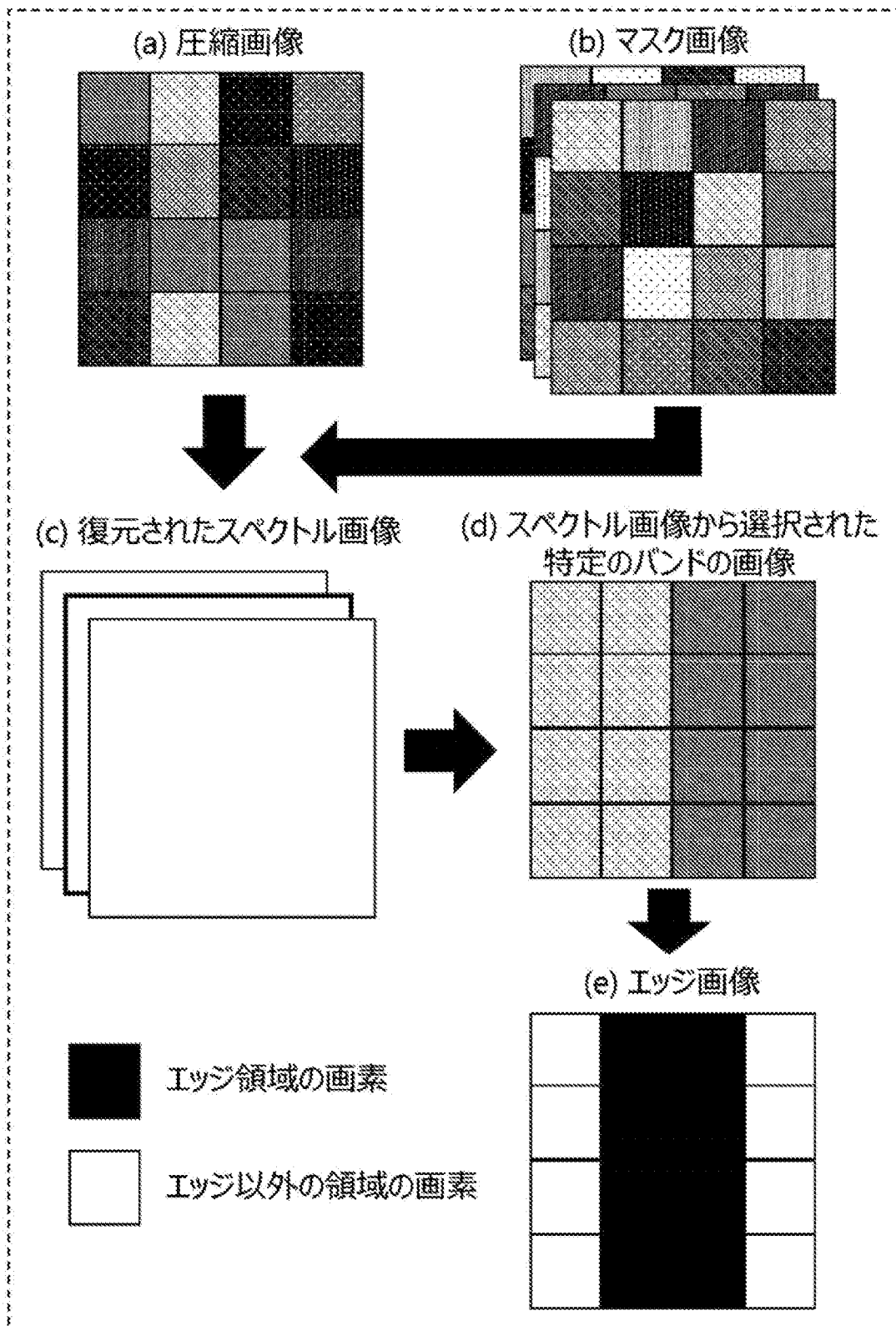
[図11]



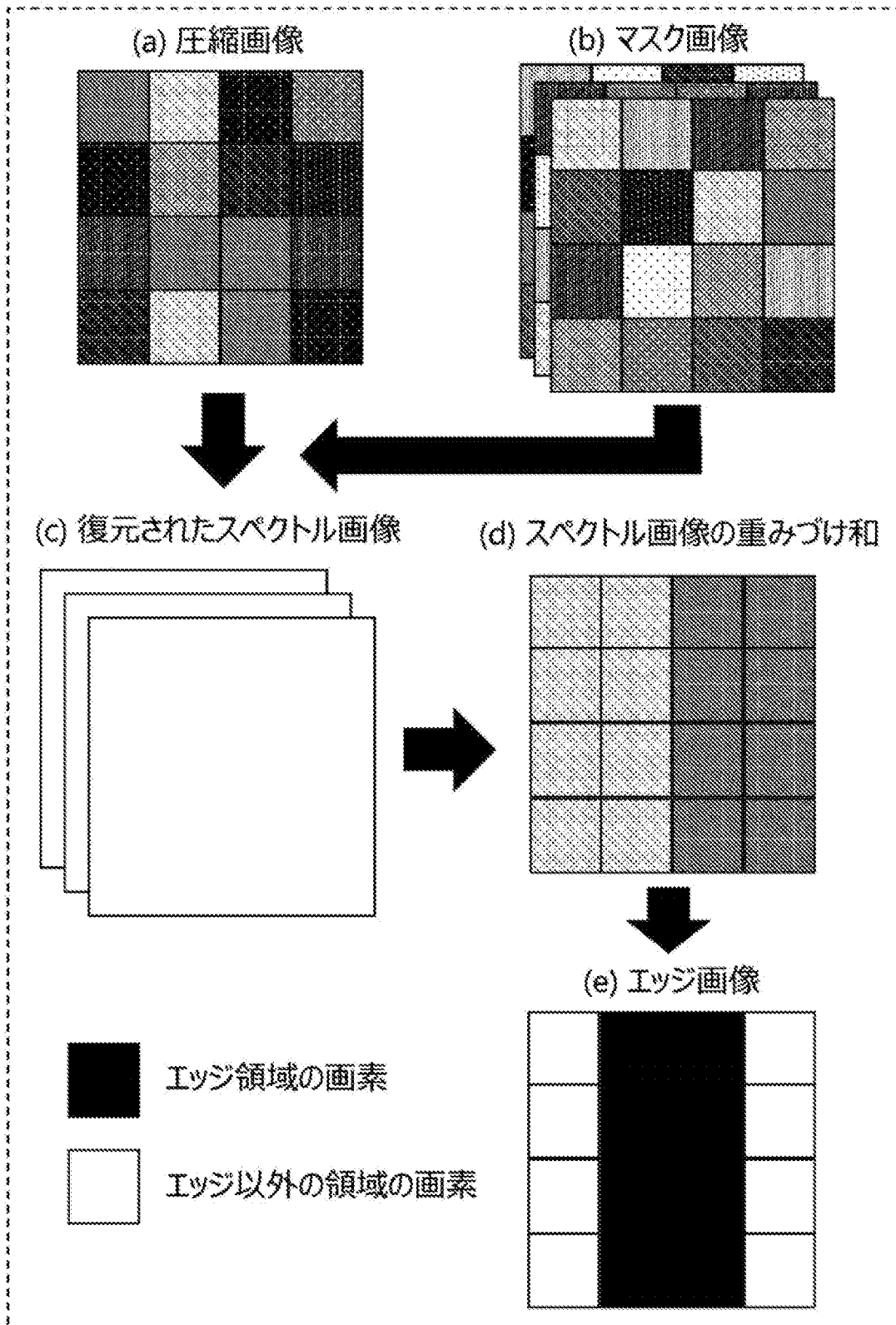
[図12]



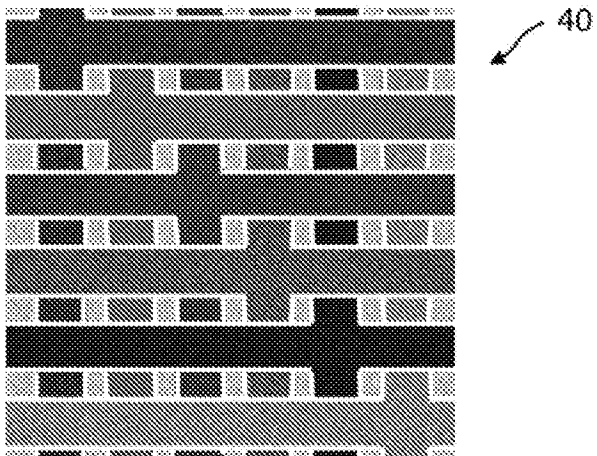
[図13]



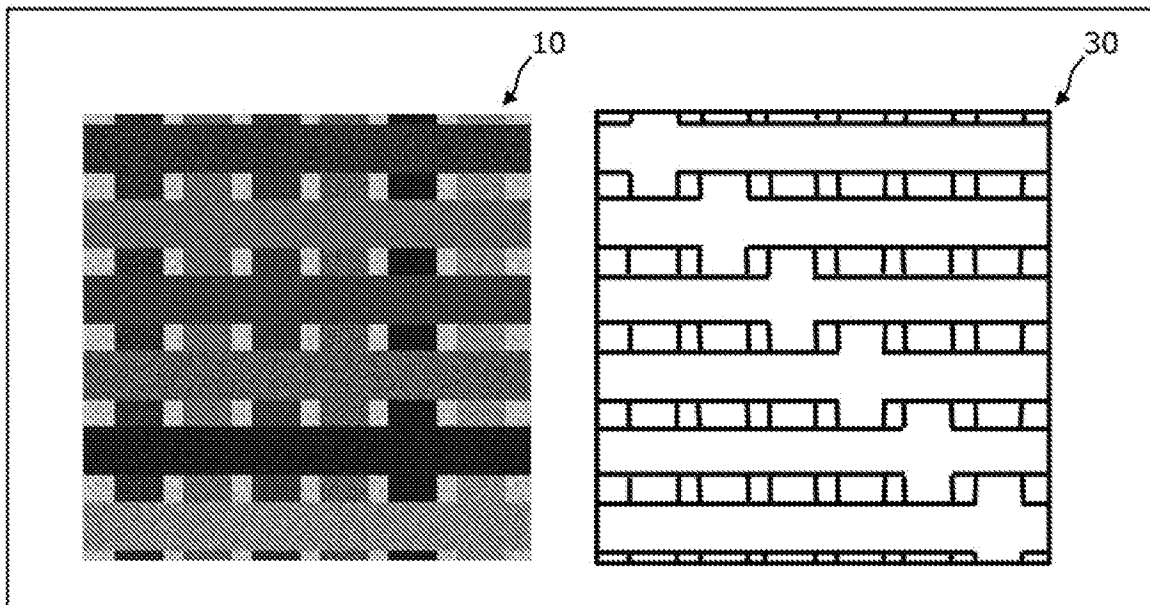
[図14]



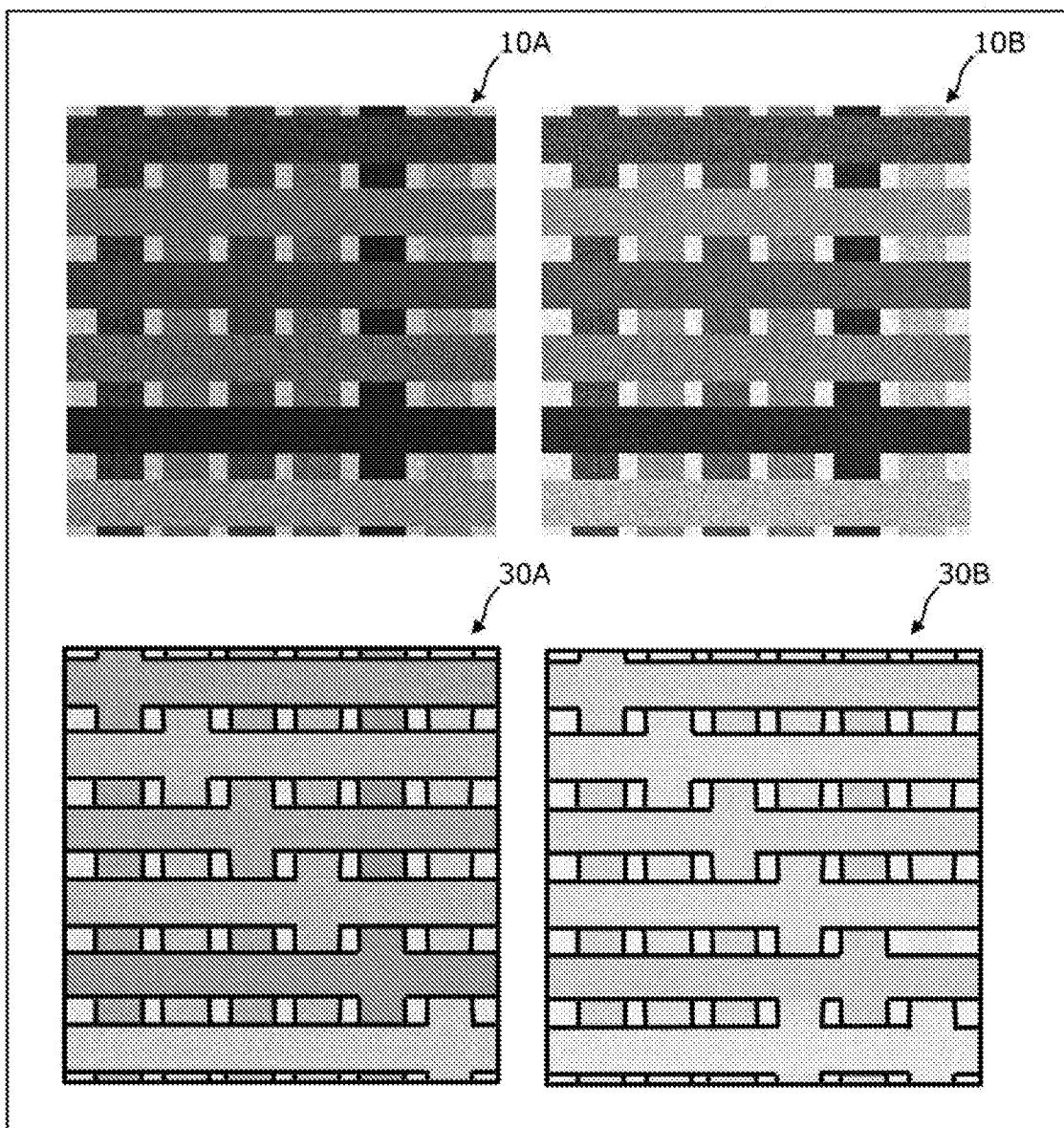
[図15]



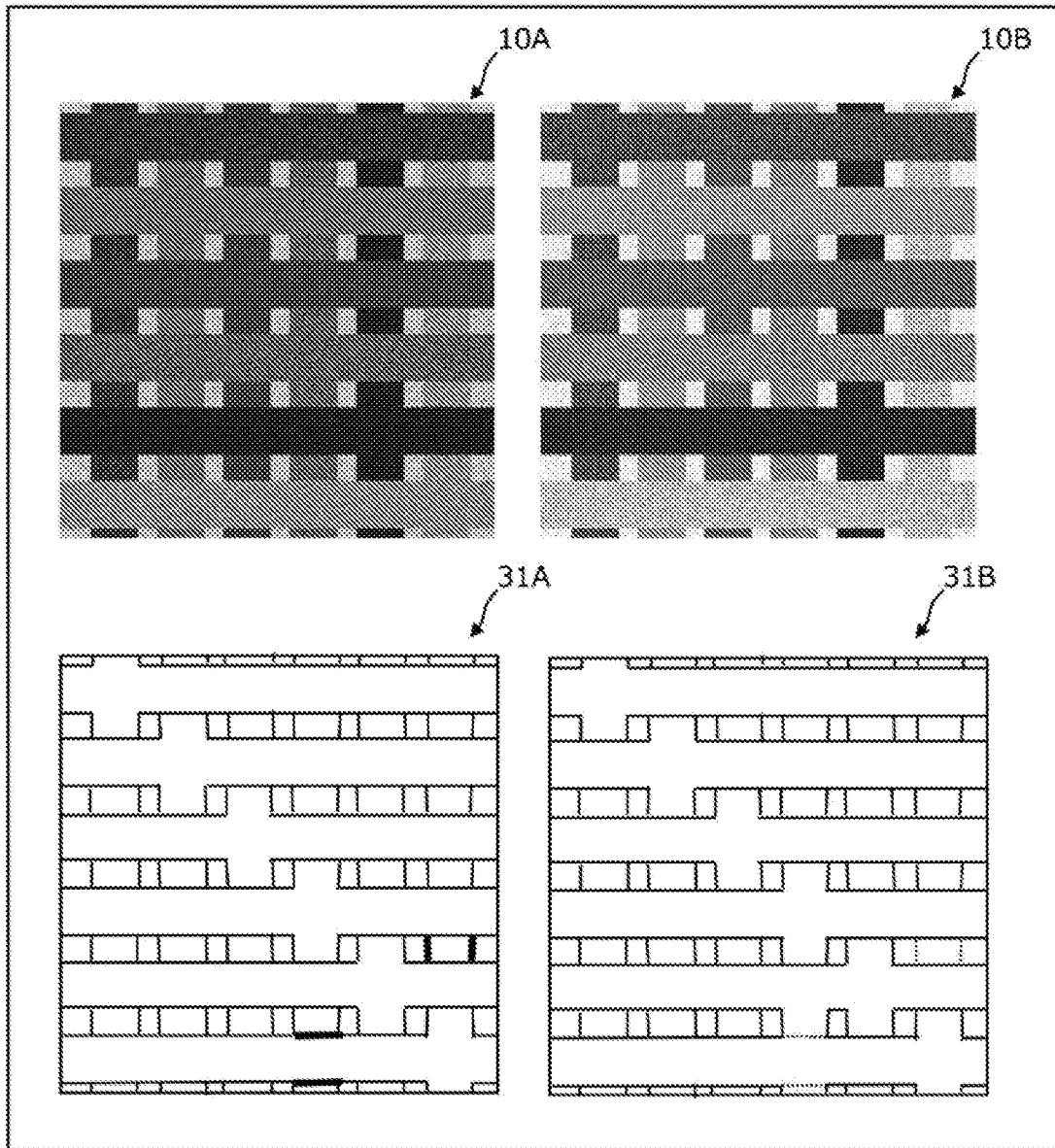
[図16]



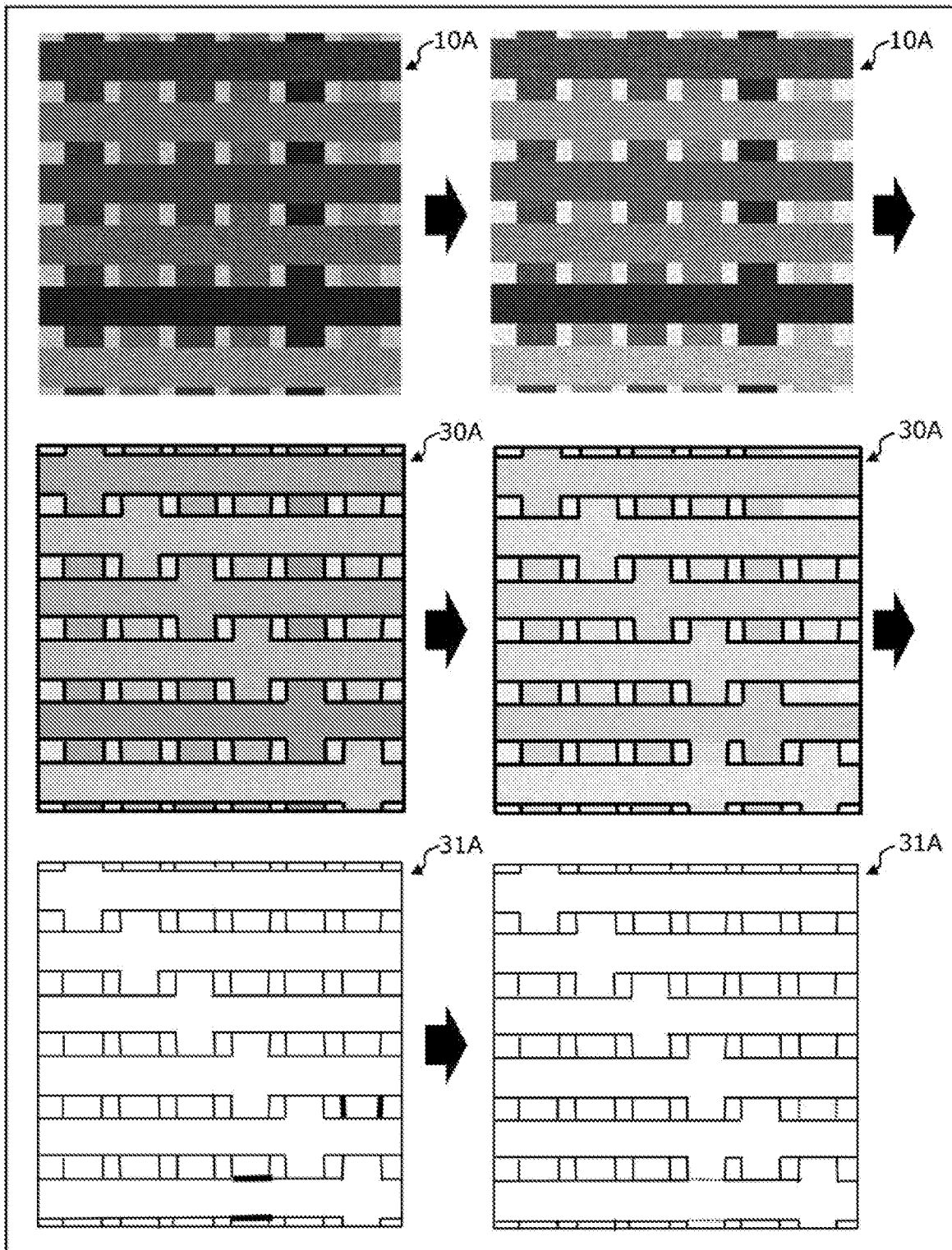
[図17]



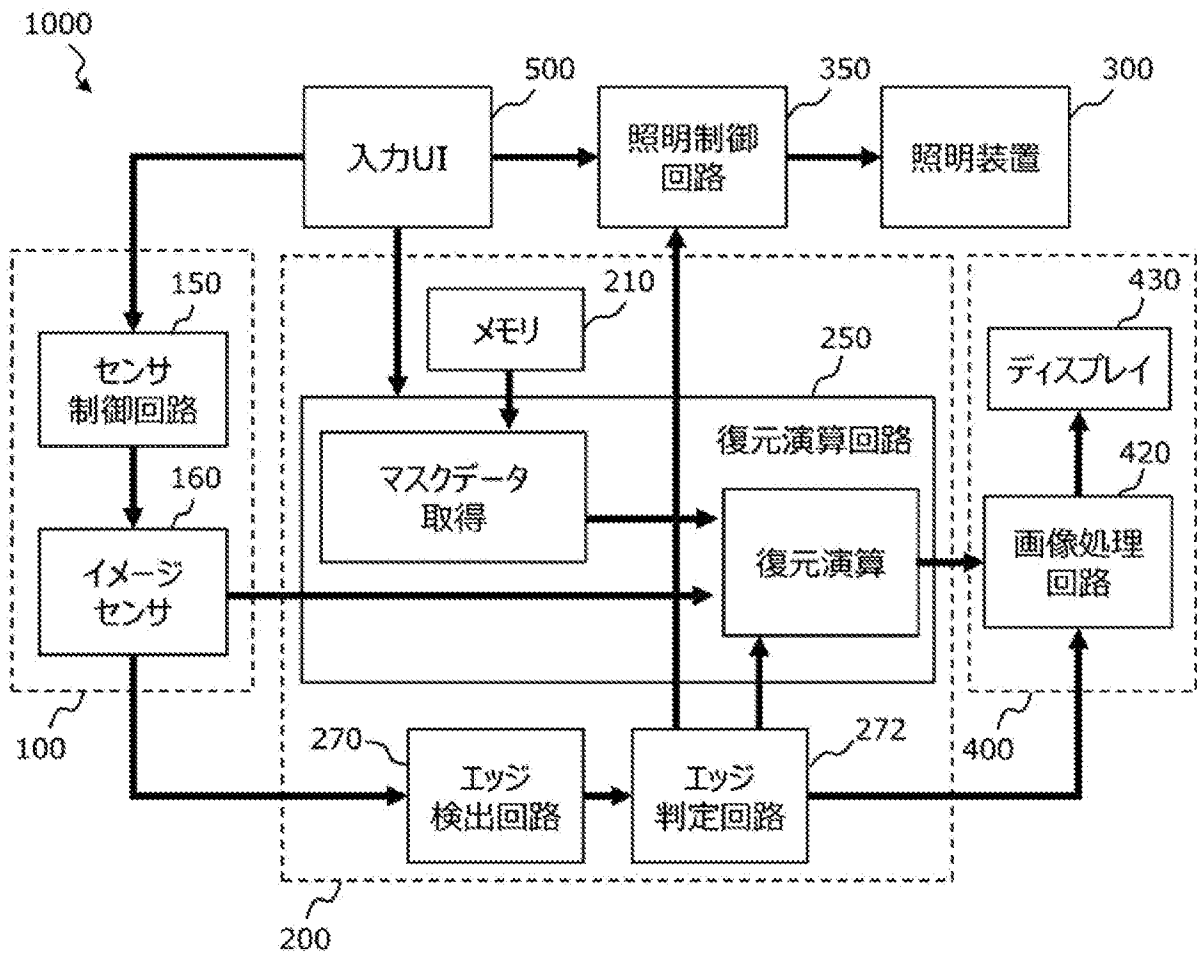
[図18]



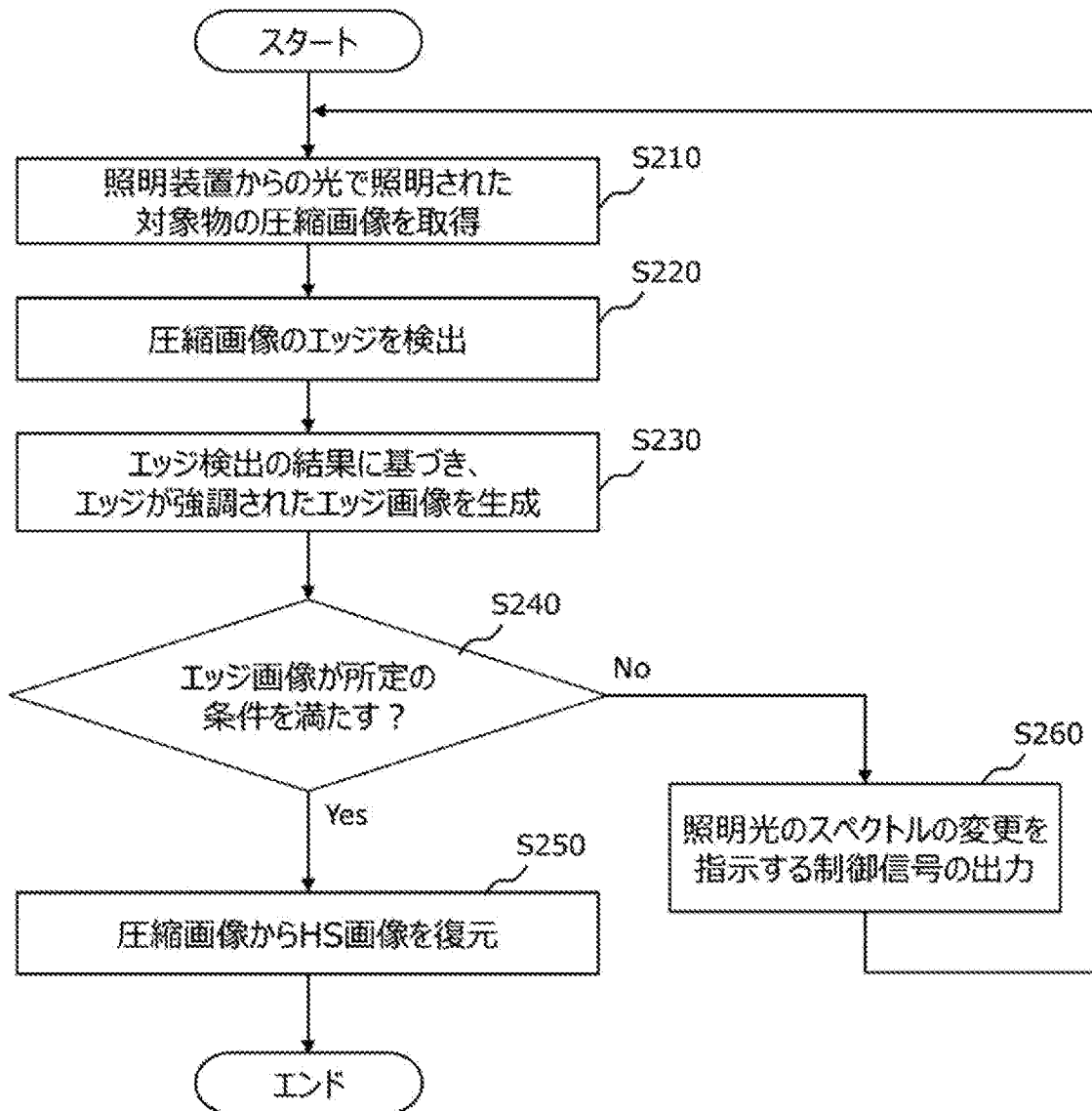
[図19]



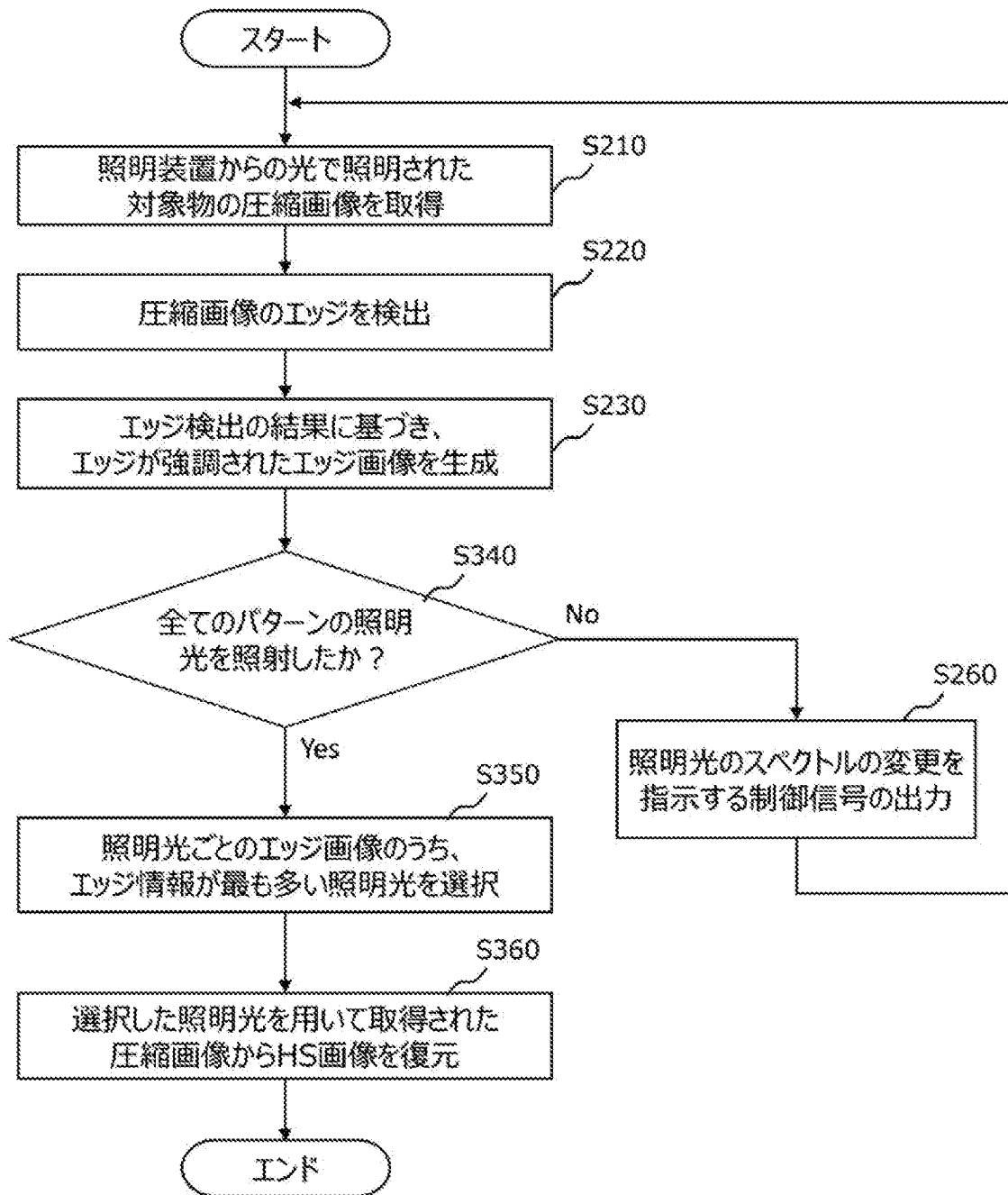
[図20]



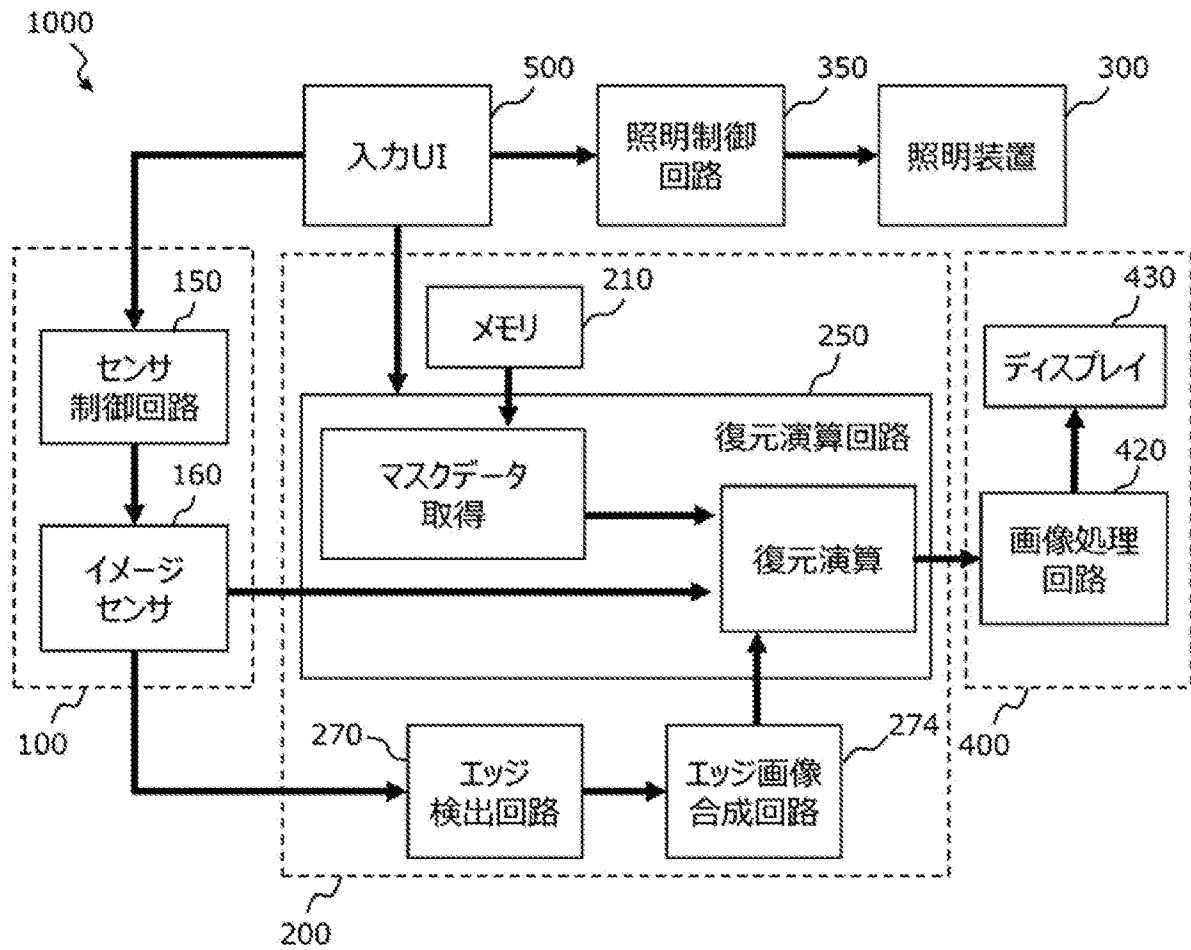
[図21]



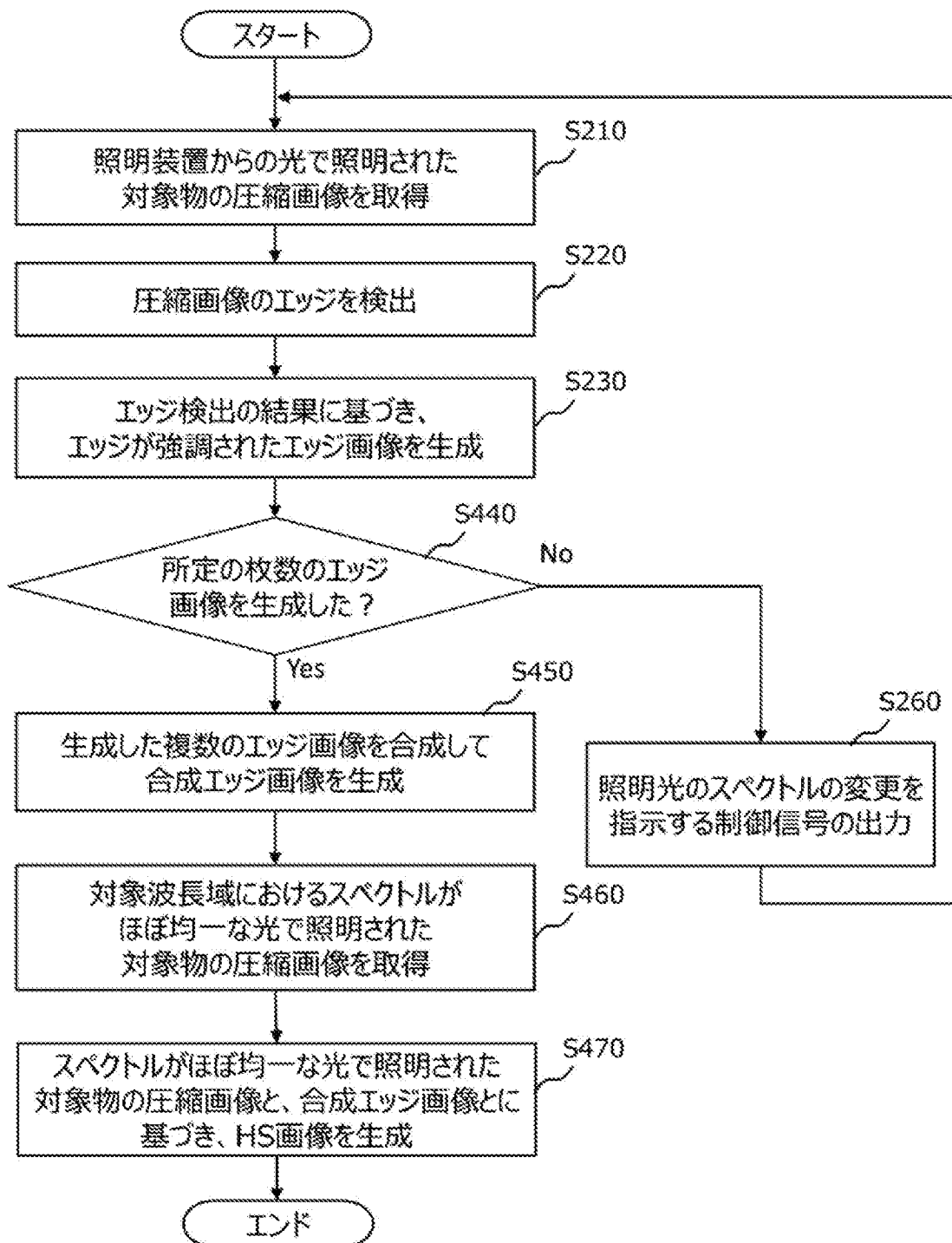
[図22]



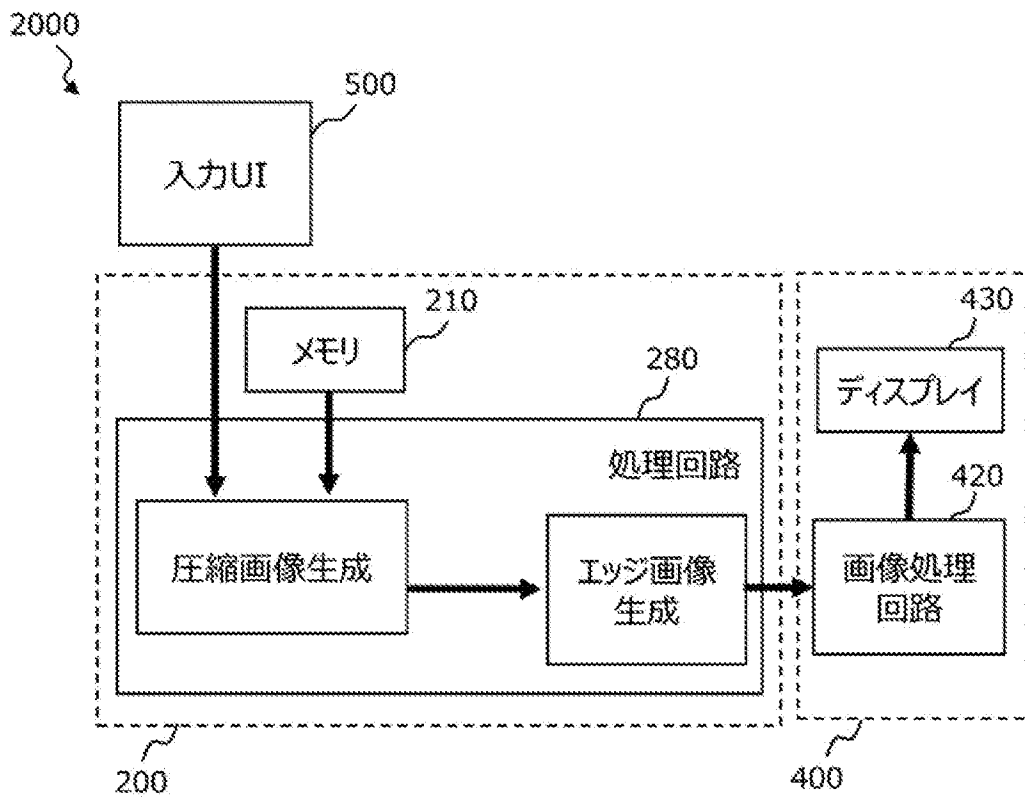
[図23]



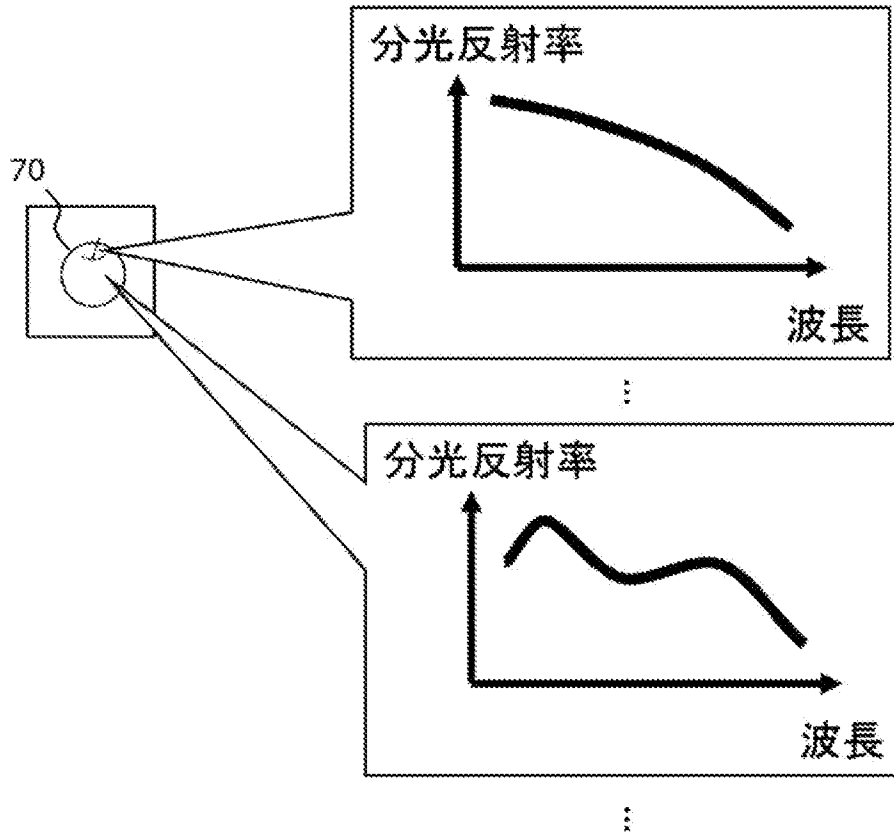
[図24]



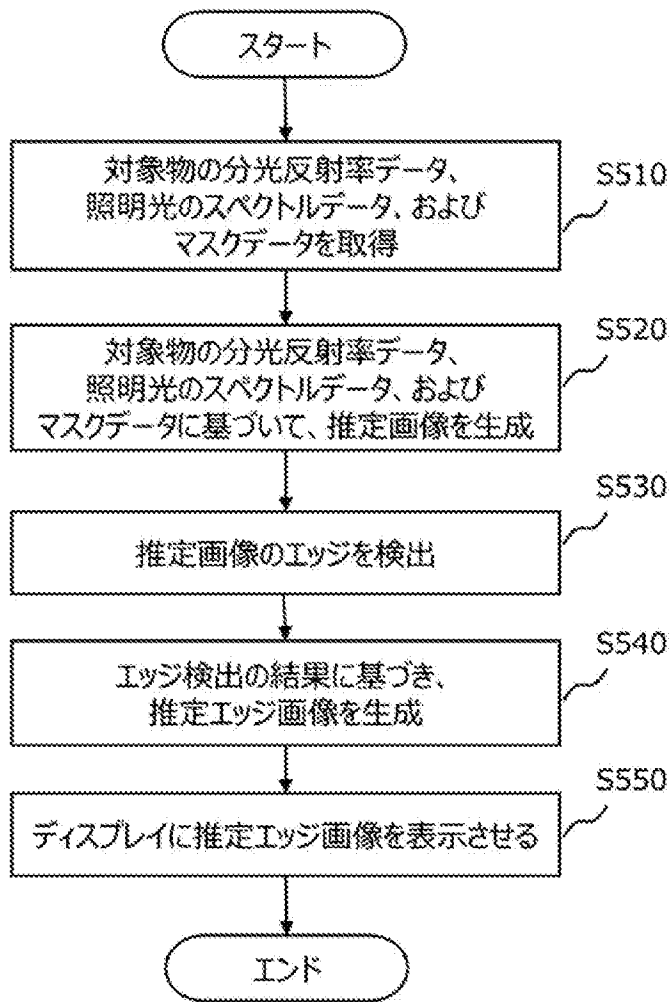
[図25]



[図26]



[図27]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2024/009554

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER		
<i>H04N 23/95</i> (2023.01)i; <i>G01J 3/36</i> (2006.01)i; <i>G01J 3/51</i> (2006.01)i; <i>H04N 23/54</i> (2023.01)i; <i>H04N 23/55</i> (2023.01)i FI: H04N23/95; H04N23/55; H04N23/54; G01J3/36; G01J3/51		
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) H04N23/95; G01J3/36; G01J3/51; H04N23/54; H04N23/55		
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 1971-2024 Registered utility model specifications of Japan 1996-2024 Published registered utility model applications of Japan 1994-2024		
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	JP 2016-130727 A (PANASONIC INTELLECTUAL PROPERTY MANAGEMENT CO., LTD.) 21 July 2016 (2016-07-21) paragraphs [0006], [0031]-[0050], [0053]-[0057], [0065]-[0072], fig. 1, 6, 7A-7F	1-2, 9, 12, 14, 16-18, 20
Y	paragraphs [0006], [0031]-[0050], [0053]-[0057], [0065]-[0072], fig. 1, 6, 7A-7F	3-8, 10-11, 13, 15, 19
Y	WO 2021/246192 A1 (PANASONIC INTELLECTUAL PROPERTY MANAGEMENT CO., LTD.) 09 December 2021 (2021-12-09) paragraphs [0086]-[0103], fig. 8-16	3-8, 10, 13, 15, 19
Y	WO 2022/075094 A1 (PANASONIC INTELLECTUAL PROPERTY MANAGEMENT CO., LTD.) 14 April 2022 (2022-04-14) paragraphs [0203]-[0209], fig. 19-40	3-4, 6-8, 10-11, 13, 15, 19
A	WO 2020/080045 A1 (PANASONIC INTELLECTUAL PROPERTY MANAGEMENT CO., LTD.) 23 April 2020 (2020-04-23) entire text, all drawings	1-20
<input checked="" type="checkbox"/> Further documents are listed in the continuation of Box C. <input checked="" type="checkbox"/> 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 "D" document cited by the applicant in the international application "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 17 May 2024		Date of mailing of the international search report 28 May 2024
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
Information on patent family members

International application No.

PCT/JP2024/009554

Patent document cited in search report			Publication date (day/month/year)	Patent family member(s)	Publication date (day/month/year)
JP	2016-130727	A	21 July 2016	US 2016/0205373 A1 paragraphs [0008], [0050]- [0069], [0072]-[0076], [0084]- [0090], fig. 1, 6, 7A-7F	
				CN 105791640 A	
WO	2021/246192	A1	09 December 2021	US 2023/0079297 A1 paragraphs [0114]-[0131], fig. 8-16	
				CN 115516851 A	
WO	2022/075094	A1	14 April 2022	US 2023/0217121 A1 paragraphs [0269]-[0275], fig. 19-40	
				CN 116235031 A	
WO	2020/080045	A1	23 April 2020	US 2021/0158108 A1	
				EP 3869452 A1	
				CN 112106064 A	
				JP 2023-158210 A	
				JP 2023-158211 A	
US	2022/0201187	A1	23 June 2022	WO 2022/139955 A1	
				EP 4267988 A1	
				TW 202243462 A	

A. 発明の属する分野の分類（国際特許分類（IPC）） H04N 23/95(2023.01)i; G01J 3/36(2006.01)i; G01J 3/51(2006.01)i; H04N 23/54(2023.01)i; H04N 23/55(2023.01)i FI: H04N23/95; H04N23/55; H04N23/54; G01J3/36; G01J3/51		
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）） H04N23/95; G01J3/36; G01J3/51; H04N23/54; H04N23/55 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 1971-2024年 日本国実用新案登録公報 1996-2024年 日本国登録実用新案公報 1994-2024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	JP 2016-130727 A (パナソニックIPマネジメント株式会社) 21.07.2016 (2016-07-21) [0006], [0031]-[0050], [0053]-[0057], [0065]-[0072], 図1, 6, 7A-7F	1-2, 9, 12, 14, 16-18, 20
Y	[0006], [0031]-[0050], [0053]-[0057], [0065]-[0072], 図1, 6, 7A-7F	3-8, 10-11, 13, 15, 19
Y	WO 2021/246192 A1 (パナソニックIPマネジメント株式会社) 09.12.2021 (2021-12-09) [0086]-[0103], 図8-16	3-8, 10, 13, 15, 19
Y	WO 2022/075094 A1 (パナソニックIPマネジメント株式会社) 14.04.2022 (2022-04-14) [0203]-[0209], 図19-40	3-4, 6-8, 10-11, 13, 15, 19
A	WO 2020/080045 A1 (パナソニックIPマネジメント株式会社) 23.04.2020 (2020-04-23) 全文、全図	1-20
<input checked="" type="checkbox"/> C欄の続きにも文献が列挙されている。 <input checked="" 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、一般的技术水準を示すもの “D” 国際出願で出願人が先行技術文献として記載した文献 “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 17.05.2024	国際調査報告の発送日 28.05.2024	
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） 小西 隆 2V 4081 電話番号 03-3581-1101 内線 3271	

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
A	US 2022/0201187 A1 (MICROSOFT TECHNOLOGY LICENSING, LLC) 23.06.2022 (2022 - 06 - 23) the whole document, FIGs. 1-11	1-20

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/JP2024/009554

引用文献			公表日	パテントファミリー文献			公表日
JP	2016-130727	A	21.07.2016	US	2016/0205373	A1	
					[0008], [0050]-[0069], [0072]-[0076], [0084]- [0090], FIGs. 1, 6, 7A-7F		
				CN	105791640	A	
WO	2021/246192	A1	09.12.2021	US	2023/0079297	A1	
					[0114]-[0131], FIGs. 8-16		
				CN	115516851	A	
WO	2022/075094	A1	14.04.2022	US	2023/0217121	A1	
					[0269]-[0275], FIGs. 19-40		
				CN	116235031	A	
WO	2020/080045	A1	23.04.2020	US	2021/0158108	A1	
				EP	3869452	A1	
				CN	112106064	A	
				JP	2023-158210	A	
				JP	2023-158211	A	
US	2022/0201187	A1	23.06.2022	WO	2022/139955	A1	
				EP	4267988	A1	
				TW	202243462	A	