

(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
2011年11月17日(17.11.2011)

PCT

(10) 国際公開番号
WO 2011/142295 A1

- (51) 国際特許分類:
G01N 21/27 (2006.01) G01J 3/28 (2006.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2011/060575
- (22) 国際出願日: 2011年5月6日(06.05.2011)
- (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 2010-109707 2010年5月11日(11.05.2010) JP
- (71) 出願人 (米国を除く全ての指定国について): 国立大学法人群馬大学(National University Corporation Gunma University) [JP/JP]; 〒3718510 群馬県前橋市荒牧町四丁目2番地 Gunma (JP).
- (72) 発明者; および
- (75) 発明者/出願人 (米国についてのみ): 太田 直哉 (OHTA Naoya) [JP/JP]; 〒3768515 群馬県桐生市天神町一丁目5番1号 国立大学法人群馬大学内 Gunma (JP).
- (74) 代理人: 特許業務法人信友国際特許事務所(Shin-yu International Patent Firm); 〒1510073 東京都渋谷区笹塚1-6-4-8 笹塚サウスビル Tokyo (JP).
- (81) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の国内保護が可能): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KM, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PE, PG, PH, PL, PT, RO, RS, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.
- (84) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の広域保護が可能): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシア (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), ヨーロッパ (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR,

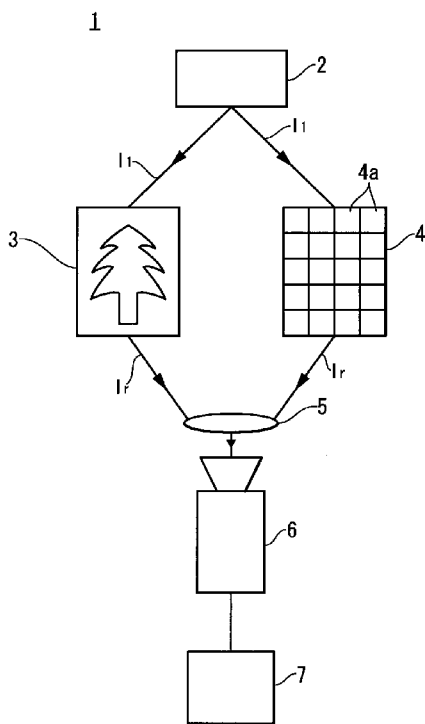
[続葉有]

(54) Title: SPECTRAL REFLECTIVITY MEASURING DEVICE AND SPECTRAL REFLECTIVITY MEASURING METHOD

(54) 発明の名称: 分光反射率測定装置、及び分光反射率測定方法

[図1]

FIG. 1



(57) Abstract: Disclosed is a spectral reflectivity measuring device (1) provided with a reflection calibration plate (4), a plurality of optical filters (5) for transmitting light with different wavelengths therethrough, an image capturing unit (6), and a calculation processing unit (7). A plurality of images of an object to be measured (3) and the reflection calibration plate (4) are acquired while changing the optical filters (5). In the reflection calibration plate (4), a plurality of reflection calibration sections (4a) having different spectral reflectivities are formed, and the spectral reflectivities of the respective reflection calibration sections (4a) are known. In the calculation processing unit (7), the plurality of images of the object to be measured (3) and the reflection calibration plate (4), which are captured by the respective optical filters (5), are processed, and the spectral reflectivity of the object to be measured (3) is derived by a predetermined calculation.

(57) 要約: 反射校正版4と、異なる波長の光を透過する複数の光学フィルタ5と、撮像装置6と、演算処理装置7とを備えた分光反射率測定装置1において、光学フィルタ5を替えながら、測定対象物3と反射校正版4の画像を複数枚取得する。反射校正版4には、異なる分光反射率を有する複数の反射校正部4aが形成されており、各反射校正部4aの分光反射率が既知とされている。演算処理装置7において、各々の光学フィルタ5を介して撮影された測定対象物3と反射校正版4の複数枚の画像を処理し、所定の演算により測定対象物3の分光反射率を導出する。

WO 2011/142295 A1

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, ML, MR, NE, SN, TD, TG). 添付公開書類:
— 國際調查報告 (條約第 21 條(3))

明 細 書

発明の名称：分光反射率測定装置、及び分光反射率測定方法

技術分野

[0001] 本発明は、測定対象の分光反射率を測定することのできる分光反射率測定装置、及び分光反射率測定方法に関するものである。

背景技術

[0002] 従来、測定対象の分光反射率を計測するために、入射する光の、それぞれの波長に関する強度（エネルギー）を測定することのできる分光放射計が用いられている。分光反射率とは、物体の表面がどのような波長の光をどの程度反射するかに関する特性であり、一般的な分光放射計では、測定対象の物体から反射されてくる光の分光エネルギー分布が測定される。分光エネルギー分布は、物体を照射している光源の分光エネルギー分布と分光反射率の積であるから、分光反射率は、測定値を分光エネルギー分布で割って求める。そのため、光源の分光エネルギー分布が既知である必要があるが、これが未知の場合には、物体の代わりに、全ての波長を均等に反射することのできる標準白色版を置いて同様の測定を行い、光源の分光エネルギー分布とする。

[0003] 以上の分光放射計を用いた測定は、測定対象の微小面積で構成される、ある一点の分光反射率を計測するものである。このため、例えば絵画等の二次元的な広がりを持った測定対象の各部分で分光反射率を測定するような場合には、一点一点、計測を繰り返さなければならず、手間と時間がかかるという問題がある。

[0004] これに対し、二次元的な広がりを有する測定対象の各点における分光反射率を一度に測定できる機器として、マルチスペクトルカメラがある（特許文献1参照）。一般的なマルチスペクトルカメラは、モノクロカメラと、異なる波長を透過させる複数のバンドパスフィルタとで構成される。マルチスペクトルカメラでは、バンドパスフィルタをモノクロカメラの前に配置し、測定対象を、バンドパスフィルタを介して撮影する。そして、異なる波長を通

過させる複数のバンドパスフィルタを次々と取り替えながら複数の画像を取得し、各画像の画素値から各バンドパスフィルタを通過する波長領域の入射エネルギーを計算できるように構成されている。このマルチスペクトルカメラを用いれば、異なるバンドパスフィルタを介して撮影された複数の画像を取得することにより、測定対象の各点での分光エネルギー分布が測定できる。

[0005] しかしながら、このマルチスペクトルカメラは、入射する光のエネルギー分布を測定する装置であるため、測定対象物の分光反射率を測定する場合には、分光放射計と同様に、光源の分光エネルギー分布が既知である必要がある。

[0006] また、上述した従来の分光放射計やマルチスペクトルカメラは、その装置に必要な機器が大変高価である。例えば、分光放射計では、分光装置として、回折格子かプリズムが用いられるが、これらには精密な加工が要求されるため一般的に高価になる。また、マルチスペクトルカメラに用いられるバンドパスフィルタも、その厚みを正確にコントロールされた複数のコーティング層を形成しなければならず、作製にコストがかかり、一枚一枚が高価となる。

[0007] そして、従来の分光放射計やマルチスペクトルカメラの分光特性は、回折格子やバンドパスフィルタ、カメラに用いられるCCD等の受光素子の特性、さらには、受光素子の出力を処理する電子回路の増幅率などに依存している。これらの特性は、周囲の温度など、使用環境に影響されやすいので、使用環境に対する対策をする必要があるほか、経年変化も生じるので、精度を維持するためには、定期的な校正が必要である。

先行技術文献

特許文献

[0008] 特許文献1：特開2002-185974号公報

発明の開示

発明が解決しようとする課題

- [0009] 上述の点に鑑み、本発明の目的は、光源の分光エネルギー分布や、撮像装置の特性によらず測定対象物の分光反射率を測定することができ、かつ、コストの低減が図られた分光反射率測定装置、及び分光反射率測定方法を提供することにある。

課題を解決するための手段

- [0010] 上記課題を解決し、本発明の目的を達成するため、本発明の分光反射率測定装置は、反射校正版と、複数の光学フィルタと、撮像装置と、演算処理装置とを備える。

反射校正版は、異なる分光反射率を有する複数の反射校正部を有し、各反射校正部の分光反射率が既知とされている。複数の光学フィルタは、各々異なる分光透過特性を有するように構成されている。撮像装置は、反射校正版と所望の測定対象物とを、各々の光学フィルタを介して撮影するものであり、受光した光の光量に応じた信号を生成し、その信号から、反射校正版と測定対象物の画像を得る。演算処理装置は、各々の光学フィルタを介して撮影された測定対象物と反射校正版の複数枚の画像を処理し、所定の演算により測定対象物の分光反射率を導出する。

- [0011] 本発明の分光反射率測定装置では、異なる分光透過特性を有する複数の光学フィルタの各々を介して、反射校正版と測定対象物の画像を複数枚取得する。そして、これらの画像を演算処理装置で処理することにより、測定対象物の分光反射率が導出される。本発明の分光反射率測定装置では、反射校正版を構成する反射校正部の分光反射率のみが既知であれば、測定対象物の分光反射率を求めることができる。

- [0012] 本発明の分光反射率測定方法は、異なる分光反射率を有する複数の反射校正部を有し、各反射校正部の分光反射率が既知である反射校正版と、所望の測定対象物とを撮影する撮像装置と、各々異なる分光透過特性を持つ複数の光学フィルタとを準備する工程を有する。そして、撮像装置により、同一照明条件下で測定対象物と反射校正版とを各々の光学フィルタを介して撮影し

、測定対象物と反射校正部の画像を複数枚取得する工程を有する。さらに、演算処理装置により、撮像装置で取得した測定対象物と反射校正部の画像の画素値から、測定対象物における分光反射率を導出する工程を有する。

[0013] 本発明の分光反射率測定方法では、測定対象物と反射校正部の画像の画素値から測定対象物における分光反射率を求めることができるため、反射校正部の分光反射率のみ既知であればよい。このため、他の光学フィルタや、撮像装置の感度特性などについては既知である必要はなく、また校正の必要もない。

発明の効果

[0014] 本発明によれば、撮像装置や光学フィルタの特性によらず、測定対象物の分光反射率を測定することができる。また、本発明の分光反射率測定装置によれば、構成が簡素であり、高価な部材を必要としないため、コストの低減が図られる。

図面の簡単な説明

- [0015] [図1]本発明の一実施形態に係る分光反射率測定装置の概略構成図である。
[図2]本発明の一実施形態に係る分光反射率測定装置で測定する測定対象物の測定部 3 a (分光反射率 $R(\lambda)$ で図示) を示した図である。
[図3]本発明の一実施形態に係る分光反射率測定装置の反射校正版に形成された反射校正部のそれぞれの分光反射率 ($r_1(\lambda) \sim r_m(\lambda)$ で図示) を示した図である。
[図4] A ~ D 本発明の一実施形態例に係る分光反射率測定装置で測定した測定対象物の 4 種類の測定部 1 ~ 4 の分光反射率の測定結果である。
[図5]理想的な計測スペクトル空間を張る基底 (6 基底) を示す図である。

発明を実施するための形態

[0016] 以下、本発明の実施形態に係る分光反射率測定装置、及び分光反射率測定方法の一例を、図 1 ~ 図 5 を参照しながら説明する。なお、本発明は以下の例に限定されるものではない。

[0017] [1. 分光反射率測定装置]

図 1 に、本発明の一実施形態に係る分光反射率測定装置の概略構成図を示す。図 1 に示すように、本実施形態例の分光反射率測定装置 1 は、光源 2 と、反射校正版 4 と、所望の測定対象物 3 と反射校正版 4 とを撮影する撮像装置 6 と、撮像装置 6 の光入射側に配置される光学フィルタ 5 と、所定の演算を行う演算処理装置 7 とを備える。

[0018] 光源 2 は、所望の測定対象物 3 と、反射校正版 4 とに光 I_1 を照射するものである。本実施形態例において用いることのできる光源 2 は特に限定されず、環境光を用いてもよい。このため、本実施形態例のように、光源 2 を分光反射率測定装置 1 の一構成要素としてもよいが、しなくてもよい。測定時において、測定対象物 3 と反射校正版 4 とが撮像装置 6 で撮影できる程度の明るさに保たれれば、本実施形態例の分光反射率測定方法を実施することができる。また、測定対象物 3 と反射校正版 4 とは同一照明条件下に配置される必要がある。すなわち、測定対象物 3 と反射校正版 4 には、同じエネルギーの光 I_1 が照射される。

[0019] 反射校正版 4 は、異なる分光反射率を有する複数の反射校正部 4 a を有して構成されており、本実施形態例で用いることのできる反射校正版 4 は、各反射校正部 4 a の分光反射率が既知であるものに限られる。また、反射校正版 4 では、後述する演算処理のため、複数の反射校正部 4 a は、測定対象物 3 の各部分における分光反射率が、各反射校正部 4 a における分光反射率の線形結合で表されるように決定されている。

[0020] 撮像装置 6 は、測定対象物 3 及び反射校正版 4 を撮影するものであり、測定対象物 3 及び反射校正版 4 から反射された光 I_1 が入射されるように配置される。撮像装置 6 は、図示を省略するが、CCD 型又は CMOS 型のイメージセンサと、イメージセンサに入射光を導く光学レンズと、イメージセンサの出力信号を処理する信号処理回路とを備えている。撮像装置 6 では、イメージセンサに入射した光の光量に応じた信号電荷が生成される。そして、光電変換により得られた信号電荷が信号処理回路に処理され、画像が得られる。

本実施形態例では、撮像装置 6 として、一般的な CCD 型のデジタル一眼レフカメラを用い、また、後に説明する分光反射率測定方法の原理を単純にするために、ガンマ補正が成されていない白黒画像を得るものとする。

[0021] 光学フィルタ 5 は、撮像装置 6 の光入射側、すなわち、一般的な撮像装置に構成された光学レンズの前面に配置される。これにより、測定対象物 3、及び反射校正版 4 に反射された光 1_r は、光学フィルタ 5 を介して撮像装置 6 に入射する。また、本実施形態例では、各々分光透過特性が異なる光学フィルタ 5 が複数枚準備されており、各々の光学フィルタ 5 は、撮影毎に取り替えられる。

[0022] 本実施形態例で用いられる光学フィルタ 5 としては、従来のマルチスペクトルカメラ等に用いられる高価なバンドパスフィルタである必要はなく、所定の透過率を有するフィルムで構成された安価なカラーフィルタを用いることができる。すなわち、本実施形態例で用いることができる複数の光学フィルタ 5 は、各々異なる分光透過特性を有するものであればよく、特定の波長範囲のみを透過するように設計された単色性に優れたフィルタに限られるものではない。また、本実施形態例の光学フィルタ 5 としては、測定したい波長範囲内の光を透過できるフィルムであればよい。

本実施形態例では、エドモンド・オプティクス社製のカラーフィルタを用いて、所望の光学フィルタ 5 を作製した。また、各々の光学フィルタ 5 の光透過特性は、特に既知である必要はない。

[0023] 演算処理装置 7 は、例えば一般的なコンピュータで構成され、撮像装置 6 で撮影した測定対象物 3 と反射校正版 4 の画像を処理し、所定の演算により、測定対象物 3 の各部分における分光反射率を導出する。演算処理装置 7 における分光反射率の導出方法については、後述する。

[0024] 以上のように、本実施形態例の分光反射率測定装置 1 は、構成が簡単であり、格別に高価な機材を必要としないため、安価に製作することができる。このため、従来の分光放射計やマルチスペクトラムカメラに比べて大幅なコスト低減を図ることができる。

[0025] [2. 分光反射率測定方法]

本実施形態例の分光反射率測定装置 1 を用いた分光反射率測定方法について説明する。本実施形態例の分光反射率測定方法では、まず、測定対象物 3 を光源 2 からの光 I_1 で照射し、反射校正版 4 と共に測定対象物 3 を撮影できるように撮像装置 6 を設置する。

そして、光学フィルタ 5 を介して、測定対象物 3 と反射校正版 4 とを撮影し、測定対象物 3 及び反射校正版 4 の画像を取得する。

[0026] ここで、反射校正版 4 と測定対象物 3 の撮影は同時に行ってもよく、また別々に行ってもよい。反射校正版 4 と測定対象物 3 とを別々に撮影する場合には、同じ光源 2 を用いて、同じ照度でそれぞれ撮影を行う。すなわち、本実施形態例では、同じ明るさで反射校正版 4 と測定対象物 3 の撮影ができれば、1 枚の画像の中に反射校正版 4 と測定対象物 3 とを写してもよく、また、別々の画像に、それぞれ反射校正版 4 と測定対象物 3 とを写してもよい。

[0027] この撮影を、光学フィルタ 5 を取り替えながら繰り返し、光学フィルタ 5 の数と同数の画像を取得する。なお、得られる画像には、光学フィルタ 5 を装着しないで撮影した画像を含めてもよい。

このようにして、光学フィルタ 5 を取り替えながら得られた複数の画像を演算処理装置 7 に入力し、後述する演算を行うことによって測定対象物 3 の各部分における分光反射率を得ることができる。

[0028] [3. 分光反射率の導出方法]

以下、演算処理装置 7 でなされる演算処理について説明し、測定対象物 3 の分光反射率の導出方法を説明する。図 2 は、本実施形態例で測定する測定対象物 3 の測定したい部分（以下、測定部）3 a（分光反射率 $R(\lambda)$ ）で図示を示した図である。また、図 3 は、反射校正版 4 に形成された反射校正部 4 a（分光反射率 $r_1(\lambda) \sim r_m(\lambda)$ ）で図示を示した図である。本実施形態例では、各反射校正部 4 a の分光反射率 $r_1(\lambda) \sim r_m(\lambda)$ の線形結合として、測定対象物 3 の測定部 3 a の分光反射率 $R(\lambda)$ が測定される。

[0029] まず、測定対象物 3 の測定部 3 a における分光反射率を $R(\lambda)$ 、光源 2 の分光エネルギー分布を $I(\lambda)$ 、光学フィルタ 5 を含めた撮像装置 6 の分光感度特性を $f(\lambda)$ とすると、測定対象物 3 が撮影された画像の、測定部 3 a に対応する画素の画素値 B は次の〔数 1〕で表される。ここで、「画素値」とは、撮像装置 6 で得られた画像の各画素の明るさ（光エネルギー）を表す値であり、撮像装置 6 のイメージセンサで得た信号電荷量に比例する値である。

[0030] [数 1]

$$B = \int_{\lambda} I(\lambda)R(\lambda)f(\lambda)d\lambda \quad \dots (1)$$

[0031] ここで、 λ は、光の波長である。また、本実施形態例で用いられた撮像装置 6 は、ガンマ補正におけるガンマが 1、すなわち、画素値が撮像装置 6 のイメージセンサに入射する光の強さに比例するように設定する。そして、 $I(\lambda)$ と $f(\lambda)$ の積を以下の〔数 2〕で置き換える。

[0032] [数 2]

$$C(\lambda) = I(\lambda)f(\lambda) \quad \dots (2)$$

[0033] そうすると、〔数 1〕は、以下の〔数 3〕となる。

[0034] [数 3]

$$B = \int_{\lambda} C(\lambda)R(\lambda)d\lambda \quad \dots (3)$$

[0035] 前述の分光反射率測定方法で述べた、複数の光学フィルタ 5 を交換して画像を撮影することは、〔数 3〕において、異なる $C(\lambda)$ で画素値 B を生成していることとなる。異なる $C(\lambda)$ で生成された画素値 B を、添字 i を用いて区別することにし、それぞれを、 $C_i(\lambda)$ 、及び B_i ($i = 1, 2, 3, \dots, n$) と表す。ここで、 n は、取得した画像の枚数である。

本実施形態例の目的は、光学フィルタ 5 を取り替えながら取得した画素値 B_i から最終的に測定対象物 3 の測定部 3 a における分光反射率 $R(\lambda)$ を導出することである。

[0036] 反射校正版 4 は、図 3 に示すように、複数の分光反射率の異なった反射校

正部 4 a が区画されて並んだ版であるが、区画 j にある反射校正部 4 a の分光反射率を $r_j(\lambda)$ ($j = 1, 2, \dots, m$) とする。ここで、m は、反射校正版 4 に設けられた反射校正部 4 a の数である。また、前述したように、これらの分光反射率 $r_j(\lambda)$ は既知である。さらに、求めるべき測定対象物 3 の測定部 3 a の分光反射率 $R(\lambda)$ は、以下の〔数 4〕で示すように、反射校正部の分光反射率 $r_j(\lambda)$ の線形結合で表せると仮定する。

[0037] 〔数 4〕

$$R(\lambda) = \sum_{j=1}^m \alpha_j r_j(\lambda) \quad \dots (4)$$

[0038] ここで、 α_j は、線形結合の係数である。〔数 4〕のように線形結合で表せるとした仮定は、反射校正版 4 に形成する反射校正部 4 a の数を多くし、その分光反射率 $r_j(\lambda)$ ($j = 1, 2, \dots, m$) のバリエーションを適切に選ぶことで十分に満たされる。〔数 3〕と〔数 4〕を用いて B_i を計算すると、以下の〔数 5〕が求められる。

[0039] 〔数 5〕

$$B_i = \sum_{j=1}^m \alpha_j b_{ij} \quad \dots (5)$$

[0040] ただし、 b_{ij} は以下の〔数 6〕とする。 b_{ij} は、測定対象物 3 と同時に撮影した反射校正版 4 の区画 j にある反射校正部 4 a の画像 i における画素値である。

[0041] 〔数 6〕

$$b_{ij} = \int_{\lambda} C_i(\lambda) r_j(\lambda) d\lambda \quad \dots (6)$$

[0042] この画素値 b_{ij} と測定対象物 3 の測定部 3 a の画素値 B_i から〔数 4〕の係数 α_j を求めることにより、最終的に、測定対象物 3 の測定部 3 a の分光反射率 $R(\lambda)$ を導出することができる。したがって、〔数 5〕により α_j を求める方法を説明する。

[0043] まず、ベクトル x 、 y 、及び行列 M を以下の〔数 7〕と定義する。

[0044]

[数7]

$$\mathbf{x} = \begin{pmatrix} \alpha_1 \\ \alpha_2 \\ \vdots \\ \alpha_m \end{pmatrix}, \quad \mathbf{y} = \begin{pmatrix} B_1 \\ B_2 \\ \vdots \\ B_n \end{pmatrix}, \quad M = \begin{pmatrix} b_{11} & b_{12} & \cdots & b_{1m} \\ b_{21} & b_{22} & \cdots & b_{2m} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ b_{n1} & b_{n2} & \cdots & b_{nm} \end{pmatrix} \quad \cdots (7)$$

[0045] [数5] は、[数7] を用いて、以下の[数8] で表すことができる。

[0046] [数8]

$$\mathbf{y} = M\mathbf{x} \quad \cdots (8)$$

[0047] 行列Mは、一般には正方行列ではなく、さらに、フルランク ($\text{rank}(M) = \min(m, n)$) とも限らない。そこで、下記の[数9] のように、Mの一般逆 M^{-} により係数の解 $\mathbf{x} = (\alpha_1 \alpha_2 \cdots \alpha_m)^T$ (肩のTは転置を表す) を求める。

[0048] [数9]

$$\mathbf{x} = M^{-}\mathbf{y} \quad \cdots (9)$$

[0049] Mの一般逆 M^{-} の計算法は下記の[数10] に示す通りである。まず、Mを以下のように特異値分解する。

[0050] [数10]

$$M = U\Lambda V^T \quad \cdots (10)$$

[0051] ここで、Uは、 $n \times \min(m, n)$ 、Vは $m \times \min(m, n)$ の直交行列、 Λ は、 $\min(m, n) \times \min(m, n)$ の対角行列である。一般逆 M^{-} はこれらの行列を用いて以下の[数11]により計算される。

[0052] [数11]

$$M^{-} = V\Lambda^{-}U^T \quad \cdots (11)$$

[0053] [数11] の Λ^{-} は、 Λ の0以外の対角成分(特異値)をその逆数とした対角行列である。ただし、実際の計算では、誤差の存在を考慮し、0に近い値は、0として処理する。

[0054] そして、Mの一般逆 M^{-} により、[数9] から $\mathbf{x} = (\alpha_1 \alpha_2 \cdots \alpha_m)^T$ を計算し、次に、 \mathbf{x} の各要素である α_j を、[数4] の α_j として計算することにより、目的の分光反射率 $R(\lambda)$ が導出される。

[0055] すなわち、上述の演算方法では、測定対象物 3 の画像から画素値 B を求め、反射校正版 4 の各反射校正部 4 a の画像から画素値 b を求める。そして、これらの画素値 B 及び b から線形結合の係数 α を求め、これを、〔数 4〕に代入する。これにより、測定対象物 3 の測定部 3 a における分光反射率 $R(\lambda)$ が求まる。したがって、本実施形態例では、光源 2 からの光の分光エネルギー分布 $I(\lambda)$ や、光学フィルタ 5 を含めた撮像装置 6 の分光感度特性 $f(\lambda)$ は、測定対象物 3 の測定部 3 a における分光反射率 $R(\lambda)$ を求める演算には寄与しない。このため、本実施形態例では、光源 2 から出射される光のエネルギー分布を測定する必要もなく、光学フィルタ 5 や、撮像装置 6 の感度特性の校正も必要ない。

[0056] [測定結果]

次に、本実施形態例の分光反射率測定装置 1 で、実際に所望の測定対象物を測定したときの測定結果を示す。この測定では、分光反射率測定装置 1 の撮像装置 6 として、キヤノン社製の EOS Kiss digital X2 (商品名) を用い、RAW 画像モノクロモードで撮影し、16 ビットリニアの TIFF フォーマットで保存した。また、光学フィルタ 5 としては、エドモンド・オプティクス社製のフィルターカラーブック NT 39-417 (商品名) から、#10、#16、#19、#23、#41、#55、#57、#64、#66、#73、#86、#88、#92、#93、#96、#313、#346、#386、#392 の 19 枚の光学フィルタを用いた。測定では、光学フィルタ 5 を用いて撮影した 19 枚の画像と、光学フィルタ 5 を用いずに撮影した 1 枚の画像の計 20 枚の画像を用いた。また、反射校正版 4 の反射校正部 4 a としては、デジタルカラーチェッカー SG (商品名) の 2E~2J、3E~3J、4E~4J 及び 5E の 19 の区画を用いた。

[0057] 図 4A~図 4D は、本実施形態例の分光反射率測定装置 1 と、比較例の分光放射計を用いて測定したときの分光反射率の測定結果であり、横軸が波長 (nm) で、縦軸が分光反射率である。比較例の分光放射計としては、トプコン社製の SR-3A (商品名) を用いた。この測定では、分光反射率が未

知の測定対象物の4つの箇所（測定部1～4）について、本実施形態例の分光反射率測定装置1と、比較例の分光放射計とにより分光反射率を求めた。

[0058] 図4A～図4Dの測定結果からわかるように、本実施形態例の分光反射率測定装置1で計測された分光反射率は、従来の分光放射計とほぼ同じ値を示している。すなわち、本実施形態例の分光反射率測定装置1でも、測定精度の高い従来の分光放射計とほぼ同じ精度で分光反射率が測定できることがわかった。

[0059] 上述したように、本実施形態例の分光反射率測定装置1では、反射校正版4の各反射校正部4aのそれぞれの分光反射率 $r_j(\lambda)$ ($j=1, 2, \dots, m$) が計測の基準となるため、その他の光学フィルタ5や、撮像装置6の感度（イメージセンサそのものの感度）などには直接影響されない。このため、光学フィルタ5、撮像装置6などについては校正する必要がなく、既存のものをそのまま利用することができる。また、上述したように、測定対象物3及び反射校正版4を照射する光は環境光でもよく、光源2を特別に準備する必要もない。光源2を用いる場合は、一般的なハロゲンランプなどでよく、分光エネルギー分布なども予め計測する必要もない。このように、本実施形態例の分光反射率測定装置1は、簡素な構成で形成することができる。

[0060] そして、本実施形態例の分光反射率測定装置1では、2次元的な広がりを持った測定対象物3の各部分における分光反射率 $R(\lambda)$ を測定する場合でも、一度全体の画像を取得すれば、画像処理の工程で測定対象物3の各部分の画素値を取り出すことができる。このため、一度の測定で、測定対象物3の各部分の画素値と、反射校正版4の画素値とから、各部分での分光反射率 $R(\lambda)$ を求めることができる。このため、一点一点計測する必要がなく、手間や時間がかからない。

[0061] ところで、本実施形態例において、測定対象物3の分光反射率 $R(\lambda)$ を計測する手順は上述した通りであるが、本実施形態例の分光反射率測定装置1を設計するに当たっては、反射校正版4の各反射校正部4aの分光反射率

$r_j(\lambda)$ 、及び撮像装置6の分光感度特性 $f(\lambda)$ をどのように設計するかに自由度がある。一般的な状況では、使用可能な反射校正部4aの分光反射率の集合 S_r と、フィルタによって実現可能な撮像装置6の感度特性の集合 S_f から、実際に使用するセットを選ぶことになる。以下にその好ましい選択方法について説明する。

[0062] まずここでは、二つの視点から測定の好ましさを評価する。一つの視点は、 $r_j(\lambda)$ の線形結合で表現可能な分光反射率の空間が、どの程度一般的であるかという視点である。もう一つの視点は、測定された結果にどの程度の雑音（誤差）が含まれるかという点である。これら二つの視点について、理想からどの程度隔たりが有るかを表す指標 E_r 及び E_f を設定し、以下の式に示す両者の重み付きの和 E がもっとも小さくなるように $r_j(\lambda)$ 及び $f(\lambda)$ を選ぶ。

[0063] [数12]

$$E = E_r + cE_f \quad \dots (12)$$

[0064] ここで、[数12]の c は、二つの基準のバランスを取る定数であり、状況に応じて適当な値に設定する。

計測できる分光反射率の空間に関する指標 E_r は次のように設定できる。一般に計測できる分光反射率の好ましい空間は、図5に示すように、波長に関して一定間隔で感度を持つような基底で張られる空間であると考えられる。そこで、実際に $r_j(\lambda)$ で張られる空間の好ましい空間からの隔たりを E_r とする。具体的には以下のように計算する。まず、図5に示した各関数（理想の基底）を $e_k(\lambda)$ ($k=1, 2, \dots, l$) とし、これを最適に表現する $r_j(\lambda)$ の線形結合の係数を γ_{kj} とする。この係数 γ_{kj} は次の[数13]で解くことができる。

[0065] [数13]

$$\begin{pmatrix} F_{11} & F_{12} & \dots & F_{1m} \\ F_{21} & F_{22} & \dots & F_{2m} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ F_{m1} & F_{m2} & \dots & F_{mm} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \gamma_{k1} \\ \gamma_{k2} \\ \vdots \\ \gamma_{km} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} G_{k1} \\ G_{k2} \\ \vdots \\ G_{km} \end{pmatrix} \quad \dots (13)$$

[0066] ただし、 F_{ji} 、 G_{kj} は以下の〔数14〕で表される。

[0067] [数14]

$$\begin{aligned} F_{ji} &= \int_{\lambda} r_j(\lambda)r_i(\lambda)d\lambda \\ G_{kj} &= \int_{\lambda} r_j(\lambda)e_k(\lambda)d\lambda \end{aligned} \quad \dots (14)$$

[0068] そして、実際の基底 $e_k(\lambda)$ と合成された特性の差の二乗を波長で積分したものを E_{rk} とすると、 E_{rk} は、以下の〔数15〕で表される。

[0069] [数15]

$$E_{rk} = \int_{\lambda} (e_k(\lambda) - \sum_{j=1}^m \gamma_{kj}r_j(\lambda))^2 d\lambda \quad \dots (15)$$

[0070] この E_{rk} は基底 $e_k(\lambda)$ に対する再現度であるので、各基底ごとに計算される。したがって、〔数12〕内の指標にするためには、それらの和を取るか、最大値を採用するかが好ましい。ここで、最大値を取るとすれば、〔数12〕の E_r は次の〔数16〕で表される。

[0071] [数16]

$$E_r = \max_k \{E_{rk}\} \quad \dots (16)$$

[0072] なお、ここでは理想的な分光反射率の空間の例として、図5には、計測範囲を6つに分割する基底の例を示したが、6つに限定されるものではない。さらに、波長に関して一定間隔で感度を持つように基底による空間でなくともよい。

[0073] なお、この雑音の量は光源の分光分布 $I(\lambda)$ 、及び計測対象の分光反射率 $R(\lambda)$ によって変化する。そこで、これらは、実際の測定状況で平均的と思われるもので代表させる。また、それを仮定することが困難な場合には、一定値の関数 ($I(\lambda) = 1$ 及び $R(\lambda) = 1$) としてもよい。

[0074] これらの関数が定まれば、〔数1〕、〔数3〕によって〔数7〕の行列 M およびベクトル y が計算できるが、これらをそれぞれ、 $M\sim$ 、 $y\sim$ とする。これらから〔数9〕及び〔数4〕によって計算される分光反射率 $R(\lambda)$ を $R\sim(\lambda)$ とする。次に、 $M\sim$ 及び $y\sim$ の各成分に測定雑音を想定して乱数を加え

る。ここで加える乱数は平均 0、分散 1 を持つ正規乱数などが適当である。乱数を加えた行列 M 及びベクトル y を用いて同様に〔数 9〕及び〔数 4〕による分光反射率 $R(\lambda)$ を求めた後、 $\tilde{R}(\lambda)$ との差を二乗して波長に対して積分した D を以下の〔数 17〕で求める。

[0075] 〔数17〕

$$D = \int_{\lambda} (R(\lambda) - \tilde{R}(\lambda))^2 d\lambda \quad \dots (17)$$

[0076] 行列 \tilde{M} 及びベクトル \tilde{y} の成分に乱数を加える度に〔数 17〕の平均を〔数 18〕に示すように計算し、これを〔数 12〕の E_f とする。

[0077] 〔数18〕

$$E_f = \text{average}\{D\} \quad \dots (18)$$

[0078] ここで、平均を計算するために生成する D の個数であるが、例えば、10000 個程度生成させれば十分である。

以上のように、使用可能な分光反射率の集合 S_r と、使用可能なフィルタによって実現可能な撮像装置の感度特性の集合 S_f の中から候補を選択すると、〔数 12〕によってその候補に対する評価値 E が計算できることになる。このようにして、様々な候補に対して評価値 E を計算し、もっとも E が小さくなる候補を選択する。

符号の説明

[0079] 1・・・分光反射率測定装置、2・・・光源、3・・・測定対象物、3a・・・測定部、4・・・反射校正版、4a・・・反射校正部、5・・・光学フィルタ、6・・・撮像装置、7・・・演算処理装置

請求の範囲

- [請求項1] 異なる分光反射率を有する複数の反射校正部を有し、各反射校正部の分光反射率が既知である反射校正版と、
各々異なる分光透過特性を有する複数の光学フィルタと、
前記反射校正版と所望の測定対象物とを、前記各々の光学フィルタを介して撮影する撮像装置であって、受光した光の光量に応じた信号を生成し、前記信号から前記反射校正版と前記測定対象物の画像を得る撮像装置と、
前記各々の光学フィルタを介して撮影された前記測定対象物と前記反射校正版の複数枚の画像を処理し、所定の演算により前記測定対象物の分光反射率を導出する演算処理装置と、
を備える分光反射率測定装置。
- [請求項2] 前記複数の反射校正部は、前記測定対象物の分光反射率が、各反射校正部における分光反射率の線形結合で表されるように決定されている
請求項 1 に記載の分光反射率測定装置。
- [請求項3] 前記演算処理装置では、前記測定対象物の分光反射率を前記反射校正部の分光反射率の線形結合で表した場合の線形結合の係数を、前記測定対象物の画素値と前記複数の反射校正部の画素値とから導出し、
導出された前記線形結合の係数から前記測定対象物の分光反射率を導出する
請求項 2 に記載の分光反射率測定装置。
- [請求項4] さらに、測定対象物及び反射校正版に光を照射する光源を備える
請求項 3 に記載の分光反射率測定装置。
- [請求項5] 異なる分光反射率を有する複数の反射校正部を有し、各反射校正部の分光反射率が既知である反射校正版と、所望の測定対象物とを撮影する撮像装置と、各々異なる分光透過特性を有する複数の光学フィルタとを準備する工程と、

前記撮像装置により、前記測定対象物と前記反射校正版とを、同一照明条件下において、前記各々の光学フィルタを介して撮影し、前記測定対象物と前記反射校正部の画像を複数枚取得する工程と、

演算処理装置により、前記撮像装置で取得した前記測定対象物と前記反射校正部の画像の画素値から、前記測定対象物における分光反射率を導出する工程と、

を有する分光反射率測定方法。

[請求項6]

前記測定対象物における分光反射率を導出する工程では、

演算処理装置において、前記測定対象物における分光反射率を前記反射校正部の分光反射率の線形結合で表した場合の線形結合の係数を、前記測定対象物の画素値と前記複数の反射校正部の画素値とから導出し、

導出された前記線形結合の係数から前記測定対象物の分光反射率を導出する

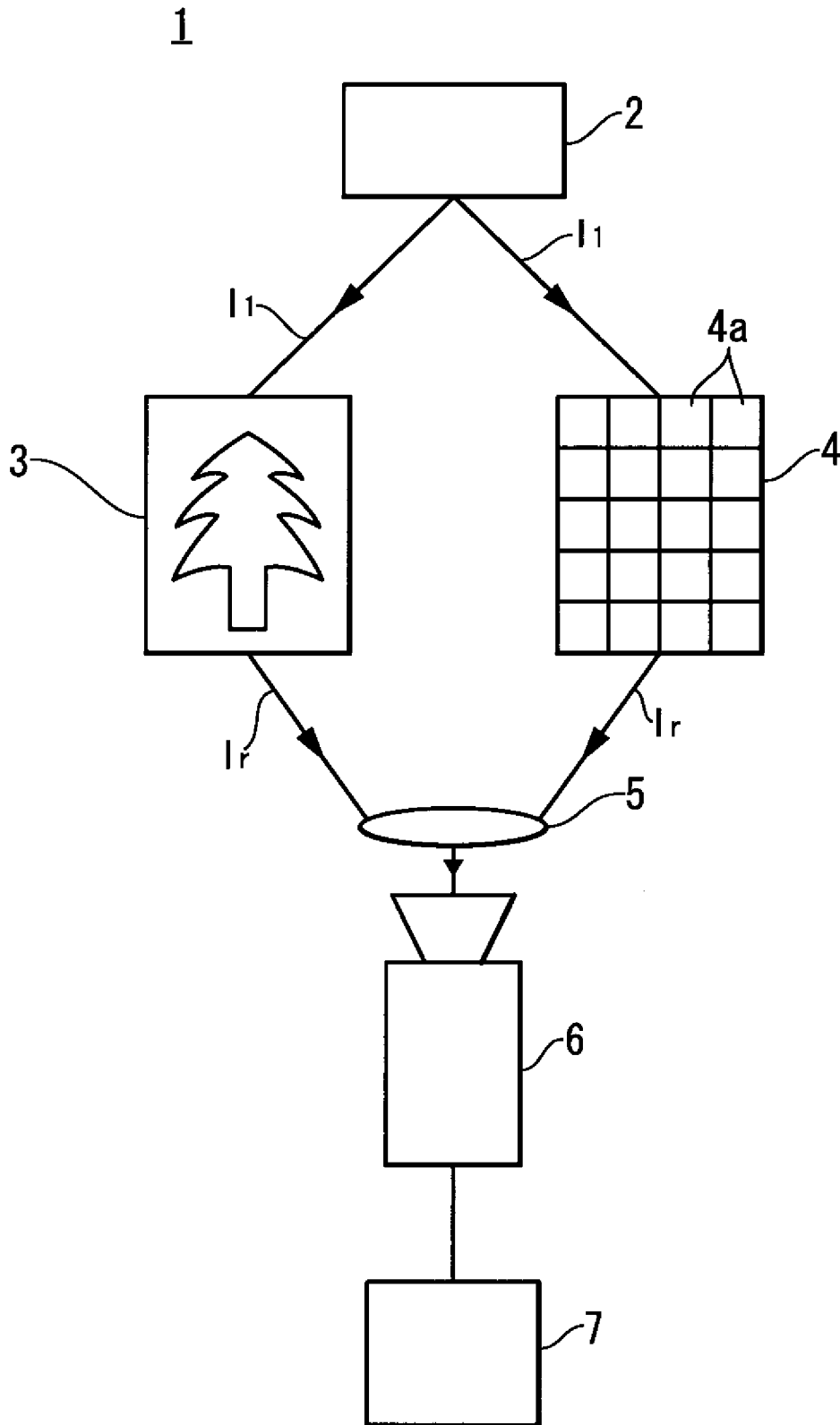
請求項5に記載の分光反射率測定方法。

[請求項7]

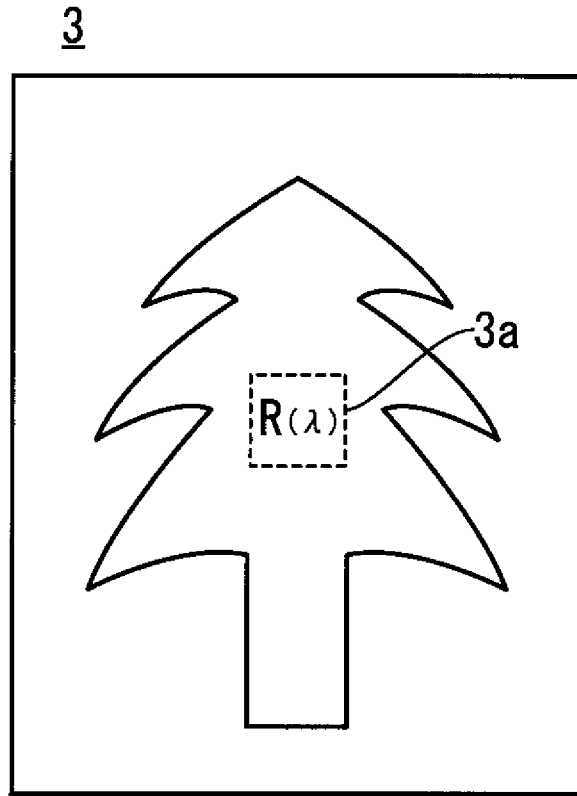
前記画像を取得する工程では、さらに、前記光学フィルタを用いずに前記測定対象物と前記反射校正版の画像を取得する工程を有する

請求項6に記載の分光反射率測定方法。

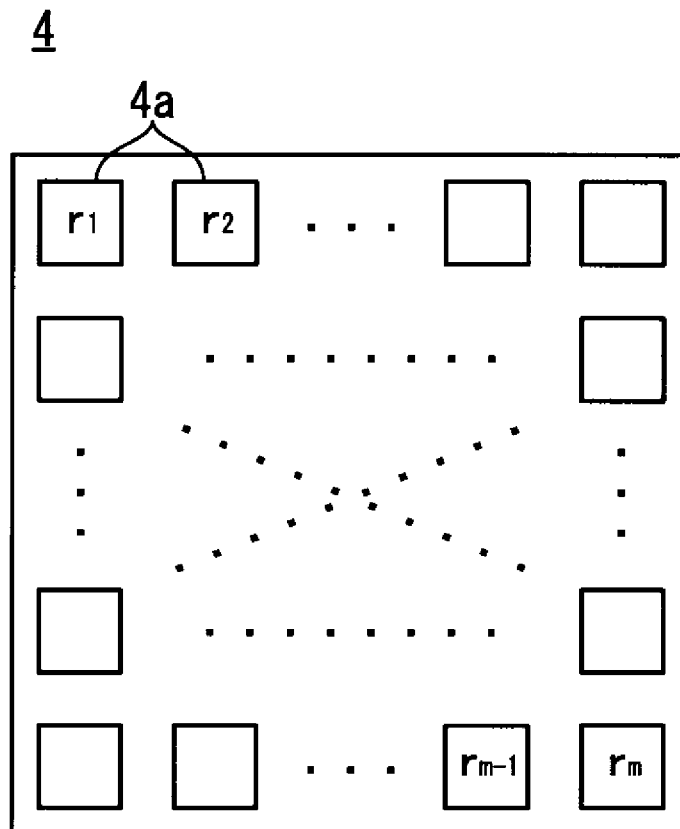
[図1]

FIG. 1

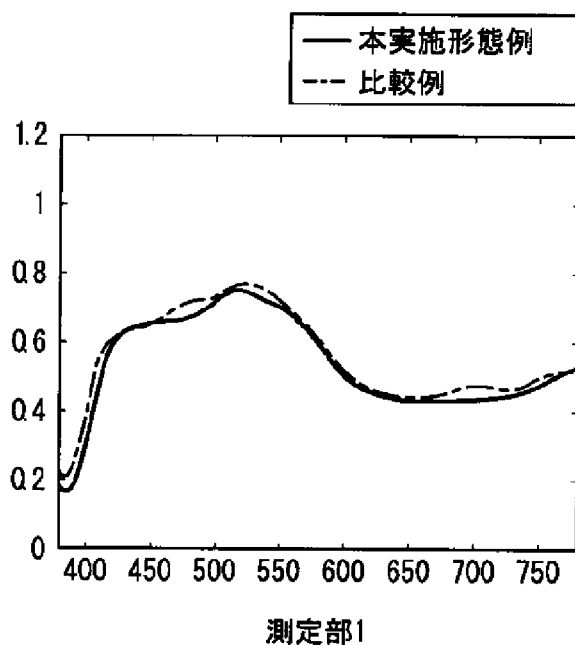
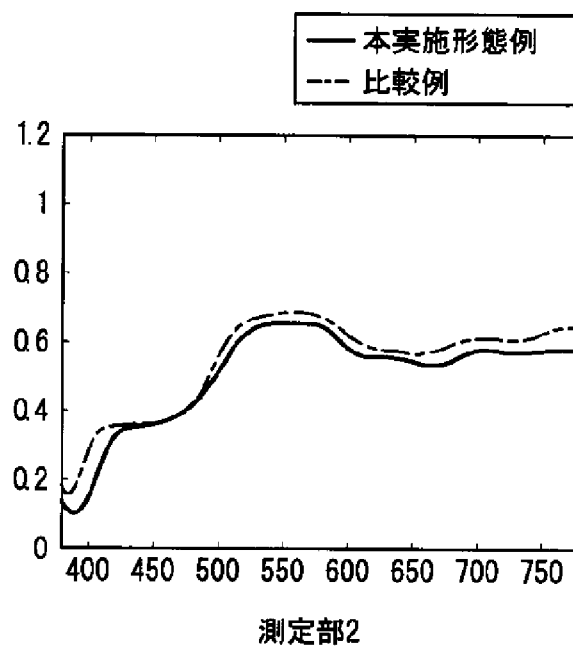
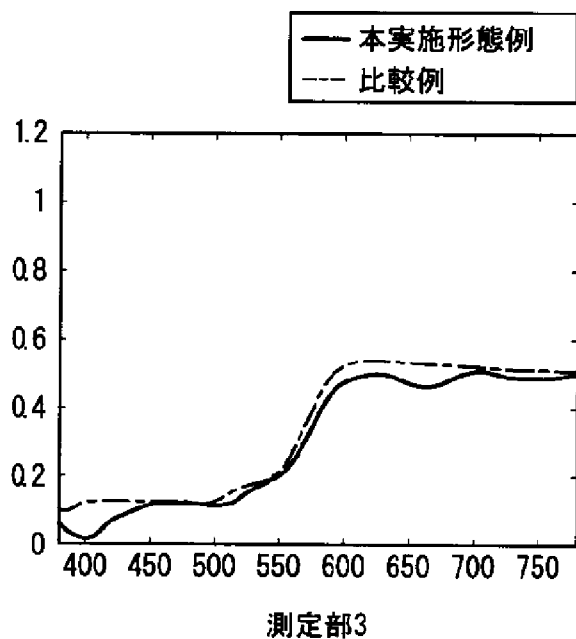
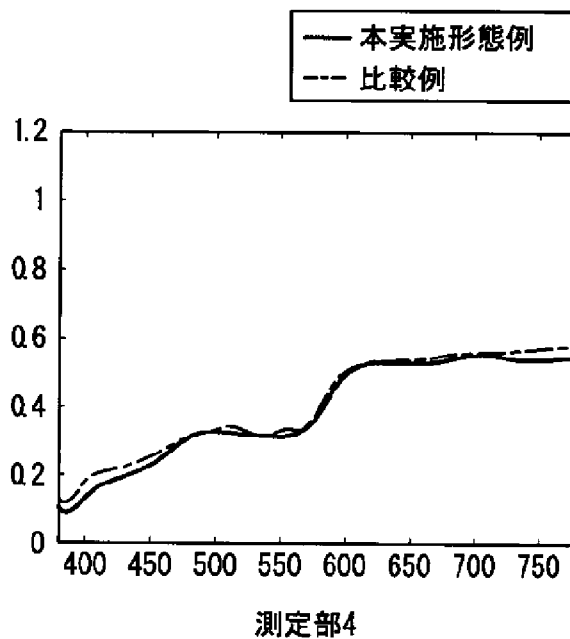
[図2]

FIG. 2

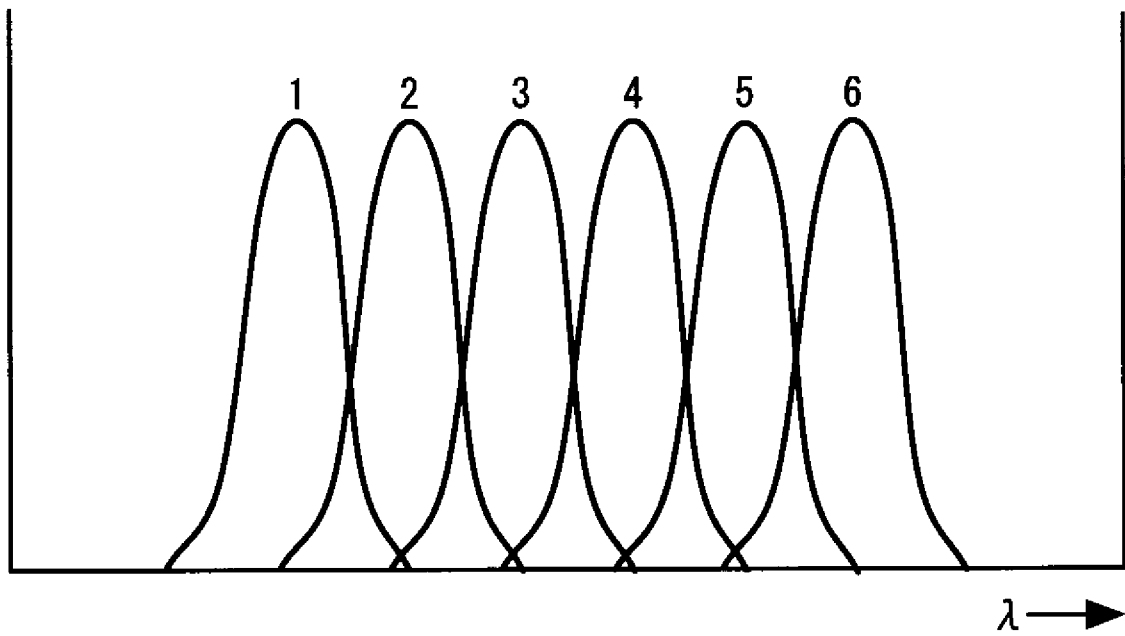
[図3]

FIG. 3

[図4]

FIG. 4A**FIG. 4B****FIG. 4C****FIG. 4D**

[図5]

FIG. 5

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2011/060575

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

G01N21/27(2006.01) i, G01J3/28(2006.01) i

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

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

G01N21/00-G01N21/61, G01J3/00-G01J3/52

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

Jitsuyo Shinan Koho	1922-1996	Jitsuyo Shinan Toroku Koho	1996-2011
Kokai Jitsuyo Shinan Koho	1971-2011	Toroku Jitsuyo Shinan Koho	1994-2011

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 Y	JP 11-096333 A (Olympus Optical Co., Ltd.), 09 April 1999 (09.04.1999), paragraphs [0026], [0033], [0037] to [0040], [0048], [0078] to [0082], [0087]	$\frac{1-6}{7}$
Y	JP 2008-298722 A (Toppan Printing Co., Ltd.), 11 December 2008 (11.12.2008), paragraphs [0029] to [0030]; fig. 1, 4	7

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
02 June, 2011 (02.06.11)

Date of mailing of the international search report
14 June, 2011 (14.06.11)

Name and mailing address of the ISA/
Japanese Patent Office

Authorized officer

Facsimile No.

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.

PCT/JP2011/060575

JP 11-096333 A	1999.04.09	US 6549653 B1	2003.04.15
		US 2003/185438 A1	2003.10.02
		US 7010162 B2	2006.03.07
		US 2006/061841 A1	2006.03.23
		US 7251362 B2	2007.07.31
JP 2008-298722 A	2008.12.11	(Family: none)	

A. 発明の属する分野の分類 (国際特許分類 (IPC))

Int.Cl. G01N21/27(2006.01)i, G01J3/28(2006.01)i

B. 調査を行った分野

調査を行った最小限資料 (国際特許分類 (IPC))

Int.Cl. G01N 21/00 - G01N 21/61, G01J 3/00 - G01J 3/52

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

日本国实用新案公報	1922-1996年
日本国公開实用新案公報	1971-2011年
日本国实用新案登録公報	1996-2011年
日本国登録实用新案公報	1994-2011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 11-096333 A (オリンパス光学工業株式会社) 1999.04.09	1-6
Y	[0026], [0033], [0037]-[0040], [0048], [0078]-[0082], [0087]	7
Y	JP 2008-298722 A (凸版印刷株式会社) 2008.12.11 [0029]-[0030], 図 1, 4	7

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矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの
 「X」特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの
 「Y」特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの
 「&」同一パテントファミリー文献

国際調査を完了した日

02.06.2011

国際調査報告の発送日

14.06.2011

国際調査機関の名称及びあて先

日本国特許庁 (ISA/J P)
 郵便番号 100-8915
 東京都千代田区霞が関三丁目4番3号

特許庁審査官 (権限のある職員)

高場 正光

電話番号 03-3581-1101 内線 3292

2W

2910

JP 11-096333 A	1999. 04. 09	US 6549653 B1	2003. 04. 15
		US 2003/185438 A1	2003. 10. 02
		US 7010162 B2	2006. 03. 07
		US 2006/061841 A1	2006. 03. 23
		US 7251362 B2	2007. 07. 31
-----	-----	-----	-----
JP 2008-298722 A	2008. 12. 11	(ファミリーなし)	
-----	-----	-----	-----