

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第6969164号
(P6969164)

(45) 発行日 令和3年11月24日(2021.11.24)

(24) 登録日 令和3年11月1日(2021.11.1)

(51) Int. Cl.		F I	
GO 1 N	21/57	(2006.01)	GO 1 N 21/57
GO 1 N	21/27	(2006.01)	GO 1 N 21/27 A
GO 1 J	3/50	(2006.01)	GO 1 J 3/50
GO 1 J	3/52	(2006.01)	GO 1 J 3/52

請求項の数 13 (全 19 頁)

(21) 出願番号	特願2017-108484 (P2017-108484)	(73) 特許権者	000006747 株式会社リコー 東京都大田区中馬込1丁目3番6号
(22) 出願日	平成29年5月31日(2017.5.31)	(74) 代理人	100089118 弁理士 酒井 宏明
(65) 公開番号	特開2018-205037 (P2018-205037A)	(72) 発明者	渡辺 修平 東京都大田区中馬込1丁目3番6号 株式 会社リコー内
(43) 公開日	平成30年12月27日(2018.12.27)	(72) 発明者	曾根 拓郎 東京都大田区中馬込1丁目3番6号 株式 会社リコー内
審査請求日	令和2年2月6日(2020.2.6)	(72) 発明者	木原 秀幸 東京都大田区中馬込1丁目3番6号 株式 会社リコー内

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 評価装置、評価プログラム及び評価方法

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

エッジ成分を有するパターンを物体に投影する投影部と、
 前記物体を分光カメラにより撮像する撮像部と、
前記物体の撮像によって得られた第1の分光データと、基準白色板の撮像によって得られた第2の分光データとから、分光画像データに変換する画像変換部と、
前記分光画像データをもとに明度画像データを所定閾値で二値化し、前記パターンのエッジの形状の変動量を数値化する二値化処理部と、
二値化された前記明度画像データのエッジの変動位置に対する近似直線を算出するエッジ成分線形近似部と、
前記近似直線に対するエッジの変動量を算出する偏差算出部と、
エッジの変動量の周波数特性を算出する周波数特性算出部と、
エッジの変動量の周波数特性に対して、人間の視覚特性を表す情報で重み付けをする視覚特性補正部と、
重み付けをされた前記周波数特性に対して積分を行なう積分算出部と、
前記物体の積分値を前記物体の表面の反射特性情報を用いて補正することにより、前記物体に写り込んだ前記パターンの虚像の形状の変動量を補正する反射特性補正部と、
 補正された前記変動量に基づいて、前記物体の表面の写像性を評価する評価量算出部とを有することを特徴とする評価装置。

【請求項2】

前記反射特性補正部は、前記物体の表面の色情報を用いて前記変動量を補正することを特徴とする請求項 1 に記載の評価装置。

【請求項 3】

前記反射特性補正部は、前記色情報のうち、前記物体の表面の明度情報を用いて前記変動量を補正することを特徴とする請求項 2 に記載の評価装置。

【請求項 4】

前記反射特性補正部は、前記物体の表面の反射率情報を用いて前記変動量を補正することを特徴とする請求項 1 に記載の評価装置。

【請求項 5】

前記評価量算出部は、予め取得された主観評価情報に基づいて、前記物体の表面の写像性を評価することを特徴とする請求項 1 ~ 4 の何れか一つに記載の評価装置。

10

【請求項 6】

前記撮像部は、前記物体に写り込んだ前記虚像に焦点を合わせて撮像することを特徴とする請求項 1 ~ 5 の何れか一つに記載の評価装置。

【請求項 7】

前記画像変換部は、前記第 1 の分光データと、前記第 2 の分光データとから反射率画像データに変換し、前記反射率画像データと、前記投影部の照明の分光データを示す第 3 の分光データ及び等色関数とから、前記分光画像データに変換することを特徴とする請求項 1 ~ 6 の何れか一つに記載の評価装置。

【請求項 8】

20

前記画像変換部は、前記物体の観察条件に応じた前記第 3 の分光データを用いることを特徴とする請求項 7 に記載の評価装置。

【請求項 9】

前記撮像部は、ハイパースペクトルカメラにより前記物体を撮像し、

前記画像変換部は、 $L * a * b$ 画像データである前記分光画像データに変換することを特徴とする請求項 1 ~ 6 の何れか一つに記載の評価装置。

【請求項 10】

前記撮像部は、RGBカメラにより前記物体を撮像し、

前記画像変換部は、XYZ画像データである前記分光画像データに変換することを特徴とする請求項 1 ~ 6 の何れか一つに記載の評価装置。

30

【請求項 11】

前記撮像部は、モノクロカメラにより前記物体を撮像し、

前記画像変換部は、前記基準白色板の反射強度を 100 パーセントとして、前記基準白色板の反射強度と、前記物体の反射強度とから、反射率画像データである前記分光画像データに変換し、

前記反射特性補正部は、前記物体の積分値を前記物体の表面の反射率情報を用いて補正することにより、前記物体に写り込んだ前記パターンの虚像の形状の変動量を補正することを特徴とする請求項 1 ~ 6 の何れか一つに記載の評価装置。

【請求項 12】

エッジ成分を有するパターンを投影した物体を分光カメラにより撮像するステップと、前記物体の撮像によって得られた第 1 の分光データと、基準白色板の撮像によって得られた第 2 の分光データとから、分光画像データに変換するステップと、

40

前記分光画像データをもとに明度画像データを所定閾値で二値化し、前記パターンのエッジの形状の変動量を数値化するステップと、

二値化された前記明度画像データのエッジの変動位置に対する近似直線を算出するステップと、

前記近似直線に対するエッジの変動量を算出するステップと、

エッジの変動量の周波数特性を算出するステップと、

エッジの変動量の周波数特性に対して、人間の視覚特性を表す情報で重み付けをするステップと、

50

重み付けをされた前記周波数特性に対して積分を行なうステップと、
前記物体の積分値を前記物体の表面の反射特性情報を用いて補正することにより、前記
 物体に写り込んだ前記パターンの虚像の形状の変動量を補正するステップと、
 補正された前記変動量に基づいて、前記物体の表面の写像性を評価するステップと
 をコンピュータに実行させるための評価プログラム。

【請求項 13】

評価装置で実行される評価方法であって、
エッジ成分を有するパターンを投影した物体を分光カメラにより撮像する工程と、
前記物体の撮像によって得られた第 1 の分光データと、基準白色板の撮像によって得ら
 れた第 2 の分光データとから、分光画像データに変換する工程と、 10
前記分光画像データをもとに明度画像データを所定閾値で二値化し、前記パターンのエ
ッジの形状の変動量を数値化する工程と、
二値化された前記明度画像データのエッジの変動位置に対する近似直線を算出する工程
 と、
前記近似直線に対するエッジの変動量を算出する工程と、
エッジの変動量の周波数特性を算出する工程と、
エッジの変動量の周波数特性に対して、人間の視覚特性を表す情報で重み付けをする工
 程と、

重み付けをされた前記周波数特性に対して積分を行なう工程と、
前記物体の積分値を前記物体の表面の反射特性情報を用いて補正することにより、前記 20
 物体に写り込んだ前記パターンの虚像の形状の変動量を補正する工程と、
 補正された前記変動量に基づいて、前記物体の表面の写像性を評価する工程と
 を含むことを特徴とする評価方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、評価装置、評価プログラム及び評価方法に関する。

【背景技術】

【0002】

従来、塗装板やアルミニウム板、漆器等の品質の評価項目として、これらの物体の表面 30
 の写像性を評価することが行なわれている。写像性の評価は、目視での判定によるものや、
 JIS K 7374、レーザスキャン方式を用いた方法が知られている。また、特許
 文献 1（特許第 4768579 号公報）では、照明とサンプルとの間にすりガラスを配置
 し、サンプルに写り込んだチャートの歪み度合いを標準偏差で評価し、基準となるサンプ
 ルでの標準偏差との比較によって写像性を評価する技術が開示されている。

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0003】

しかしながら、上述した従来技術は、写像性の評価の精度が低いという問題がある。具 40
 体的には、目視での判定は、判定者の体調によって、また、判定者が代わることによっ
 て、評価結果にばらつきが生じる。また、特許文献 1 は、サンプルの表面の反射特性のみを
 計測しているため、どの表面色であっても（表面の色が異なる場合であっても）同一の計
 測値となってしまう、精度が高いとは言い難い。

【0004】

本発明は、上記に鑑みてなされたものであって、高精度に写像性の評価を行なうことを
 目的とする。

【課題を解決するための手段】

【0005】

上述した課題を解決し、目的を達成するため、本発明に係る評価装置は、エッジ成分を
 有するパターンを物体に投影する投影部と、前記物体を分光カメラにより撮像する撮像部 50

と、前記物体の撮像によって得られた第1の分光データと、基準白色板の撮像によって得られた第2の分光データとから、分光画像データに変換する画像変換部と、前記分光画像データをもとに明度画像データを所定閾値で二値化し、前記パターンのエッジの形状の変動量を数値化する二値化処理部と、二値化された前記明度画像データのエッジの変動位置に対する近似直線を算出するエッジ成分線形近似部と、前記近似直線に対するエッジの変動量を算出する偏差算出部と、エッジの変動量の周波数特性を算出する周波数特性算出部と、エッジの変動量の周波数特性に対して、人間の視覚特性を表す情報で重み付けをする視覚特性補正部と、重み付けをされた前記周波数特性に対して積分を行なう積分算出部と、前記物体の積分値を前記物体の表面の反射特性情報を用いて補正することにより、前記物体に写り込んだ前記パターンの虚像の形状の変動量を補正する反射特性補正部と、補正された前記変動量に基づいて、前記物体の表面の写像性を評価する評価量算出部とを有する。

10

【発明の効果】

【0006】

本発明によれば、高精度に写像性の評価を行なうことができるという効果を奏する。

【図面の簡単な説明】

【0007】

【図1】図1は、主観評価実験の結果の例を示す図である。

【図2】図2は、従来技術に係る写像性計測器の概略構成を示す図である。

【図3】図3は、従来技術に係るプレートによって変化する反射光の大きさの例を示す図である。

20

【図4A】図4Aは、従来技術に係る遮光部と透過部との幅が0.5mmの場合の写像性の計測結果及び主観評価点の例を示す相関図である。

【図4B】図4Bは、従来技術に係る遮光部と透過部との幅が1mmの場合の写像性の計測結果及び主観評価点の例を示す相関図である。

【図5】図5は、実施の形態1に係る評価装置の構成例を示す概略図である。

【図6】図6は、実施の形態1に係る投影パターンの例を示す図である。

【図7】図7は、実施の形態1に係る評価部のハードウェア構成例を示すブロック図である。

【図8】図8は、実施の形態1に係る評価部の機能構成例を示すブロック図である。

30

【図9】図9は、二値化された画像データのエッジに対する近似直線の例を示す図である。

【図10】図10は、主観評価実験での視覚伝達関数(VTF)の例を示す図である。

【図11】図11は、実施の形態1に係る色情報の補正例を説明する図である。

【図12】図12は、実施の形態1に係る写像性評価値と主観評価点との相関の例を示す図である。

【図13】図13は、色差と、明度差及び彩度差それぞれとの相関の例を示す図である。

【図14】図14は、明度差を用いて補正を行なった場合の写像性評価値と主観評価点との相関の例を示す図である。

【図15】図15は、実施の形態1に係る写像性評価処理の流れの例を示すフローチャートである。

40

【図16】図16は、実施の形態2に係る評価部の機能構成例を示すブロック図である。

【図17】図17は、実施の形態2に係る写像性評価処理の流れの例を示すフローチャートである。

【図18】図18は、実施の形態3に係る評価部の機能構成例を示すブロック図である。

【図19】図19は、実施の形態3に係る写像性評価処理の流れ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】

【0008】

以下に添付図面を参照して、本発明に係る評価装置、評価プログラム及び評価方法の実

50

施の形態を説明する。なお、以下の実施の形態により本発明が限定されるものではない。また、各実施の形態は、内容を矛盾させない範囲で適宜組み合わせることができる。

【0009】

(実施の形態1)

[主観評価実験]

本実施の形態に係る写像性の評価を実現するにあたっては、物理量の計測のほかに、尺度化された主観評価点を利用することができる。そこで、写像性の主観評価実験について説明する。主観評価実験では、評価対象の物体(サンプル)が一つずつランダムに被験者に対して提示される。ここで、例えば、左のサンプルに対して、右のサンプルは写像性が良いかどうかについて、被験者に点数を付けてもらう。これは、一対比較法と呼ばれる手法である。

10

【0010】

一対比較法を行なうために、異なる写像性を有するカラーサンプルを8枚用意した。8枚のカラーサンプルの色の内訳は、ブラック、レッド、ブルー、シルバーである。また、レッド、ブルー、シルバーの各色のサンプルは、メタリックなサンプルである。なお、サンプルの大きさはレターサイズとした。

【0011】

ここで、今回実施した一対比較法であるシェッフェ法について詳しく説明する。被験者には、提示された一対のサンプルA及びサンプルBを比較してもらい、サンプルAに対するサンプルBの表面の写像性について、以下の5段階で点数を付けてもらった。

20

【0012】

A << B のとき + 2 点
 A < B のとき + 1 点
 A = B のとき 0 点
 A > B のとき - 1 点
 A >> B のとき - 2 点

【0013】

被験者には、500mm離れた位置から、サンプルの表面に写り込んだ蛍光灯や被験者自身の顔の虚像が見られるように設定された観察環境のもとで評価してもらった。また、画像評価技術者計20名を被験者とした。各サンプルに対する評価点は、評価実験の結果に、数量化I II 類の解析手法を適用し算出した。

30

【0014】

図1は、主観評価実験の結果の例を示す図である。図1において、横軸は、サンプルに付した番号(連番)を表し、主観評価点順に並べている。縦軸は、各サンプルの主観評価点を表し、値が小さいほど写像性が良いことを示している。つまり、図1に示すように、写像性が最も良いのはサンプル8であり、写像性が最も悪いのはサンプル1であるという評価結果になった。

【0015】

図1に示すように、各サンプルの順位間には、得点差が近い部分がある。そこで、得点が近いサンプル間で順位に有意差があるかを調べるため、有意差検定を行なった。この結果、サンプル2とサンプル3、サンプル6とサンプル7、サンプル7とサンプル8に、それぞれ有意差がないという結果になった。

40

【0016】

[従来技術に係る写像性計測結果]

ここで、本実施の形態に係る写像性の評価を説明する前に、従来技術に係る写像性計測器で評価した結果について説明する。図2は、従来技術に係る写像性計測器の概略構成を示す図である。図2に示す写像性計測器50は、JIS K 7374に基づき、サンプル52の写像性を測定する装置である。

【0017】

図2に示すように、写像性測定器50では、サンプル52に対して光源51から光を照

50

射し、サンプル 5 2 からの正反射光の大きさを受光器 5 3 で判断する。写像性測定器 5 0 には、サンプル 5 2 と受光器 5 3 との間に、プレート 5 4 が配置されている。プレート 5 4 には、サンプル 5 2 からの反射光を遮光する遮光部 5 4 a と、反射光を透過する透過部 5 4 b とが、くし状に交互に設けられている。プレート 5 4 は、進行方向 S に向かって運動し、受光器 5 3 に入射する反射光の大きさを変化させる。

【 0 0 1 8 】

プレート 5 4 によって変化させたときの反射光の大きさは、図 3 に示すように周期を持った形状になる。図 3 は、従来技術に係るプレート 5 4 によって変化する反射光の大きさの例を示す図である。写像性測定器 5 0 は、その中で最大値 M と最小値 m とを、以下の (数 1) に当てはめることによって写像性を評価する。つまり、写像性が良いサンプル 5 2 10 では、正反射が強いいため、最大値 M の値が大きくなり、最小値 m の値が小さくなる。一方、写像性が悪いサンプル 5 2 では、拡散光が強くなるため、最大値 M の値が小さくなり、最小値 m の値が大きくなる。

【 0 0 1 9 】

【 数 1 】

$$\text{写像性} = \frac{M - m}{M + m} \times 100 \quad \dots (\text{数}1)$$

【 0 0 2 0 】

また、プレート 5 4 の遮光部 5 4 a と透過部 5 4 b との幅は、0 . 1 2 5 mm、0 . 2 20 5 mm、0 . 5 mm、1 mm、2 mm の 5 段階に分かれている。図 4 A は、従来技術に係る遮光部 5 4 a と透過部 5 4 b との幅が 0 . 5 mm の場合の写像性の計測結果及び主観評価点の例を示す相関図である。図 4 B は、従来技術に係る遮光部 5 4 a と透過部 5 4 b との幅が 1 mm の場合の写像性の計測結果及び主観評価点の例を示す相関図である。なお、サンプル 5 2 としては、上述した主観評価実験で用いた 8 枚のサンプルと同一のものを使用した。

【 0 0 2 1 】

図 4 A 及び図 4 B に示すように、寄与率 R^2 は、それぞれ 0 . 1 2 2 1 と 0 . 0 0 0 8 とであり、相関があまりない結果となった。このような結果は、1 次元計測で明暗のコントラストのみを計算していることが原因であり、写像性の差がわずかなサンプル間では、計測値の逆転や差がないといったことが起こると考えられる。さらに、従来技術は、計測するサンプルの色を考慮していないため、人間が感じる写像性との相関があまりない評価値が算出されると考えられる。

【 0 0 2 2 】

[実施の形態 1 に係る装置構成]

次に、図 5 を用いて、実施の形態 1 に係る評価装置の構成を説明する。図 5 は、実施の形態 1 に係る評価装置の構成例を示す概略図である。

【 0 0 2 3 】

図 5 に示すように、評価装置 1 0 0 は、光源 1 1 0 と、テレセントリックレンズ 1 2 0 と、拡散板 1 3 0 と、サンプル台 1 4 0 と、ハイパースペクトルカメラ 1 5 0 と、評価部 40 1 6 0 とを有する。サンプル台 1 4 0 には、サンプル 1 4 5 が取り付けられる。なお、光源 1 1 0 は「投影部」に対応し、ハイパースペクトルカメラ 1 5 0 は「撮像部」に対応する。

【 0 0 2 4 】

光源 1 1 0 としては、LED (Light Emitting Diode) 光源や、分光分布が太陽光に近いキセノン光源等を用いることができるが、これらに限定されるものではない。つまり、光源 1 1 0 は、使用されるサンプル 1 4 5 や、サンプル 1 4 5 が使用される実際の環境に応じて変更されれば良い。また、光源 1 1 0 は、サンプル台 1 4 0 の法線方向に対して角度 4 5 ° の方向に配置されている。

【 0 0 2 5 】

10

20

30

40

50

テレセントリックレンズ 120 は、主光線が光軸に対して平行となるレンズである。光源 110 から照射された光は、テレセントリックレンズ 120 によって平行光となり、拡散板 130 に結像される。拡散板 130 には、写像性の良し悪しによる形状の変動量が分かるように、投影パターン 101 が取り付けられている。投影パターン 101 は、エッジ成分を有する二次元パターンである。「エッジ成分を有する」とは、階調差（色の濃淡の差）があることを意味する。投影パターン 101 としては、図 5 に示すように、白と黒との二階調で表された矩形のパターンを用いることができる。但し、投影パターン 101 は、これに限られるものではない。

【0026】

図 6 は、実施の形態 1 に係る投影パターン 101 の例を示す図である。例えば、図 6 に示すように、投影パターン 101 は、階調差があれば、直線や曲線であっても良いし、円形、多角形、格子形、十字形、放射線形、多重円形等であっても良い。円形や多角形、放射線形を用いると、エッジ（図中「エッジ部」）の向きが多方向となるため、物体表面の写像性に異方性がある（物理的な性質が方向によって異なる）サンプルである場合でも、評価をすることが可能となる。また、物体表面の写像性にムラがあるサンプルの評価をする際に、計測位置による評価のばらつきが発生する。この点、多重円形や格子形のパターンは、パターン内にエッジが複数箇所存在するため、エッジごとに評価することで、面内のばらつきも考慮した評価をすることが可能となる。なお、投影パターン 101 の色は、白と黒との 2 色に限定されるものではなく、他の色を用いることもできる。

【0027】

図 5 の説明に戻る。ハイパースペクトルカメラ 150 は、サンプル台 140 の法線方向に対して、光源 110 と正反射の角度 -45° の方向に配置されており、サンプル台 140 に取り付けられたサンプル 145 に写り込んだ虚像 102 を撮影して、二次元画像データを取得する。つまり、ハイパースペクトルカメラ 150 の焦点を虚像 102 に合わせて撮像する。例えば、ハイパースペクトルカメラ 150 は、10nm 毎の分光データを取得できる。取得された二次元画像データは、評価部 160 に入力される。つまり、本実施の形態では、サンプル 145 に対する光源 110 からの入射光と反射光とで成す角度を 90° とすることで、ハイパースペクトルカメラ 150 による撮像の位置を調整しやすくして、写り込む虚像 102 のずれを極力小さくしている。ハイパースペクトルカメラ 150 とは、光の波長ごとの輝度を計測できるカメラであり、各画素で分光スペクトルを得ることができ、つまり、ハイパースペクトルカメラ 150 は、二次元の位置情報だけでなくより多くの波長情報も得ることができる。なお、図 5 に示す拡散板 130 とサンプル 145 との距離や、ハイパースペクトルカメラ 150 とサンプル 145 との距離は、例えば 100mm としているが、これに限られるものではない。

【0028】

[評価部のハードウェア構成]

次に、図 7 を用いて、実施の形態 1 に係る評価部 160 のハードウェア構成を説明する。図 7 は、実施の形態 1 に係る評価部 160 のハードウェア構成例を示すブロック図である。

【0029】

図 7 に示すように、評価部 160 は、CPU (Central Processing Unit) 62 と、ROM (Read Only Memory) 63 と、RAM (Random Access Memory) 64 と、通信 I/F 65 とを有する。上記各部は、バス 61 を介して相互に接続される。評価部 160 は、PC (Personal Computer) やサーバ装置等の情報処理装置である。

【0030】

CPU 62 は、評価部 160 の動作を統括的に制御する。例えば、CPU 62 は、RAM 64 等を作業領域として、ROM 63 等に格納されたプログラムを実行することで、評価部 160 全体の動作を制御する。これにより、評価部 160 は、後述する各種機能を実現する。通信 I/F 65 は、ハイパースペクトルカメラ 150 やその他の外部装置との通信を制御するインターフェースである。例えば、通信 I/F 65 は、ハイパースペクトルカ

10

20

30

40

50

メラ150によって撮像された二次元画像データの入力を受け付ける。これらのほか、評価部160は、各種情報を入力するためのキーボード等の入力装置と接続するインターフェースや、各種情報を出力するためのディスプレイ等の出力装置と接続するインターフェース等を備えていても良い。また、評価部160は、各種データを蓄積するために使用される不揮発性の記憶装置であるHDD(Hard Disk Drive)等を備えていても良い。

【0031】

[評価部の機能構成]

次に、図8を用いて、実施の形態1に係る評価部160の機能構成を説明する。図8は、実施の形態1に係る評価部160の機能構成例を示すブロック図である。なお、図8では、ハイパースペクトルカメラ150を、「撮像部150」と表している。

【0032】

評価部160は、画像変換部161と、二値化処理部162と、エッジ成分線形近似部163と、偏差算出部164と、周波数特性算出部165とを有する。加えて、評価部160は、視覚特性補正部166と、積分算出部167と、反射特性補正部168と、評価量算出部169とを有する。上記各部は、これらの一部又は全てがソフトウェア(プログラム)で実現されても良いし、ハードウェア回路で実現されても良い。

【0033】

画像変換部161は、撮像部150(ハイパースペクトルカメラ)で撮像された画像データを受け付け、 $L^*a^*b^*$ 画像データに変換する。上述したように、撮像部150は、10nm毎の分光データを取得することができる。画像変換部161は、この分光データと基準白色板の分光データとから反射率画像データに変換し、照明の分光データと等色関数とを合わせてXYZ表色系に変換して、さらに、 $L^*a^*b^*$ 画像データへと変換する。 $L^*a^*b^*$ 画像データへの変換は、人間の感度と対応させるために実行される。なお、基準白色板については、事前に、サンプル145の位置に配置して撮像部150に撮像させる。例えば、後述するように、エッジの変動量の評価は、 L^* 画像データが用いられる。 L^* 画像データを用いる利点としては、人間の見えにより近いデータにすることができる点である。

【0034】

また、分光分布は、サンプル145の観察条件に応じて変更することができる。例えば、オフィス空間でサンプル145を観察する状況を想定した写像性を計算する場合は、D50の光源の分布を用いる。また、天候の良い屋外でサンプル145を観察する状況を想定した写像性を計算する場合は、D65の光源の分布を用いる。これらにより、観察条件を含めた評価値を算出することができる。

【0035】

二値化処理部162は、明度画像データ(L^* 画像データ)を二値化する。例えば、二値化処理部162は、画像変換部161による変換で得られた $L^*a^*b^*$ 画像データから、 L^* 画像データを所定閾値で二値化し、投影パターン101のエッジの形状の変動量を数値化する。これにより、投影パターン101の変動をより明瞭に見ることができる。

【0036】

エッジ成分線形近似部163は、二値化された画像データのエッジの変動位置に対する近似直線を算出する。例えば、エッジ成分線形近似部163は、最小二乗法により近似直線を算出する。図9は、二値化された画像データのエッジに対する近似直線の例を示す図である。例えば、図9に示すL1が近似直線である。図9の計測サイズは約30mm×30mmであり、解像度は約625dpiである。

【0037】

偏差算出部164は、近似直線に対して、エッジが変動している量(偏差画像)をラインごとにそれぞれ算出する。例えば、偏差算出部164は、画像データ(図9参照)の上方のエッジから順に、エッジ成分線形近似部163によって算出された近似直線L1に対して、エッジの位置がどれだけ左右に何画素ずれているか(エッジの変動量)を算出する。

。

10

20

30

40

50

【 0 0 3 8 】

周波数特性算出部 1 6 5 は、エッジの変動量の周波数特性を算出する。例えば、周波数特性算出部 1 6 5 は、偏差算出部 1 6 4 で得られたエッジの変動量（偏差画像）に対してフーリエ変換を行ない、エッジ変動部の周波数特性を算出する。

【 0 0 3 9 】

視覚特性補正部 1 6 6 は、エッジ変動部の周波数特性に対して、人間の視覚特性を表す情報で重み付けをする。例えば、視覚特性補正部 1 6 6 は、周波数特性算出部 1 6 5 によって算出されたエッジ変動部の周波数特性に対して、人間の視覚特性を表すのに用いられる視覚伝達関数（VTF: Visual Transfer Function）で重み付けをする。

【 0 0 4 0 】

ここで、視覚伝達関数（VTF）について説明する。視覚伝達関数（VTF）とは、人間の視覚の空間周波数特性のことである。視覚伝達関数（VTF）は、エッジ変動部の周波数特性に乘算されて重み付けされる。これにより、主観評価での観察距離における人間の視覚の感度で補正された周波数特性を算出することができる。視覚伝達関数（VTF）に関しては多くの報告が存在するが、D o o l e yらの用いた明度変動の視覚伝達関数（VTF）が有名である。

【 0 0 4 1 】

図 1 0 は、主観評価実験での視覚伝達関数（VTF）の例を示す図である。なお、図 1 0 では、主観評価実験での観察距離が 5 0 0 mm である場合の視覚伝達関数（VTF）を示している。図 1 0 に示すように、約 0 . 3 c y c l e / m m 付近に感度のピークがあり、4 c y c l e / m m 付近から感度が 0 に近づくことが分かる。つまり、どのくらいの波長に対して人間の感度のピークが存在するか、どのくらいの波長に対して人間の感度がほとんど存在しないかが分かるため、これらに応じて重み付けをする。本実施の形態では、周波数特性算出部 1 6 5 や視覚特性補正部 1 6 6 の処理によって、人間の視覚には関係があまりないノイズ（人間の感度がほとんど存在しない波長の情報）を使用することを抑制している。

【 0 0 4 2 】

積分算出部 1 6 7 は、視覚特性補正部 1 6 6 によって重み付けをされた周波数特性に対して積分を行なう。

【 0 0 4 3 】

反射特性補正部 1 6 8 は、サンプル 1 4 5 それぞれの積分値に対して、サンプル 1 4 5 それぞれの色情報を用いて補正を行なう。図 1 1 は、実施の形態 1 に係る色情報の補正例を説明する図である。図 1 1 に示すように、反射特性補正部 1 6 8 は、投影パターン 1 0 1 によって遮光されている領域（図中方形の枠部分）の各画素の $L^* a^* b^*$ から平均 $L^* a^* b^*$ を算出する。そして、反射特性補正部 1 6 8 は、黒（ L^*, a^*, b^* ）=（0, 0, 0）との色差 $E_{b_l a c k}$ で、積分算出部 1 6 7 によって算出された積分値を除算する。サンプル 1 4 5 の表面の色が高明度、高彩度であるほど、補正された積分値は小さくなる。

【 0 0 4 4 】

反射特性補正部 1 6 8 では、サンプル 1 4 5 に写り込む物体の色と、サンプル 1 4 5 の色との差が小さいと、サンプル 1 4 5 に写り込んだ物体の歪みが目立たないことから、色情報を用いた補正を実施している。例えば、シルバーのサンプル 1 4 5 と、ブラックのサンプル 1 4 5 とでは、ブラックのサンプル 1 4 5 の方が、歪みが目立つ。つまり、反射特性補正部 1 6 8 では、最も歪みが目立つと考えられる黒（ L^*, a^*, b^* ）=（0, 0, 0）と、実際に計測したサンプル 1 4 5 の下地（投影パターン 1 0 1 によって遮光されている領域）の色との差で補正をしている。

【 0 0 4 5 】

評価量算出部 1 6 9 は、サンプル 1 4 5 それぞれの写像性の評価量を算出する。例えば、評価量算出部 1 6 9 は、以下の（数 2）を用いて、サンプル 1 4 5 それぞれの写像性の評価量を算出する。（数 2）は、「人は刺激に対して感度が対数変化する」というウェー

10

20

30

40

50

バー・フェヒナーの法則を考慮し、対数式としている。ここで、 y は写像性評価値であり、 x は積分値である。また、例えば、実験結果より、 $q_1 = 0.80$ 、 $q_2 = -2.86$ である。(数2)によれば、黒との色差が小さいほど、分母の E_{black} が小さくなるため、写像性評価値 y は大きくなる。同様に、(数2)によれば、黒との色差が大きいほど、分母の E_{black} が大きくなるため、写像性評価値 y は小さくなる。

【0046】

【数2】

$$y = \log \left[\frac{1+x}{(1+\Delta E_{black})^{q_1}} \right] + q_2 \quad \dots(\text{数2})$$

10

【0047】

図12は、実施の形態1に係る写像性評価値と主観評価点との相関の例を示す図である。図12では、サンプル145それぞれを円で示している。図12に示すように、寄与率 R^2 は0.90と非常に高く、主観評価での順位と有意差があるサンプル間で逆転がないことが確認できる。つまり、(数2)の評価式は、メトリックなものを含むカラーのサンプル145に対して、目視による評価と高い相関を持つことが分かる。

【0048】

ところで、反射特性補正部168の補正で用いられる色情報の要素には、明度と彩度とが含まれる。そこで、 E_{black} の値に寄与している色の成分を把握するために、色差 E_{black} と明度差 L^*_{black} との相関、色差 E_{black} と彩度差 C^*_{black} との相関をそれぞれ確認した。図13は、色差と、明度差及び彩度差それぞれとの相関の例を示す図である。図13に示すように、明度差 L^*_{black} の寄与率 R^2 が0.97であり、彩度差 C^*_{black} の寄与率 R^2 が0.01であり、明度差の寄与が特に大きいことが確認できる。

20

【0049】

図14は、明度差を用いて補正を行なった場合の写像性評価値と主観評価点との相関の例を示す図である。図14に示すように、寄与率 R^2 は0.93となり、図12に示した相関図よりも高い結果となった。本実施の形態で使用したサンプル145においては、明度を用いた補正のみであっても、人間の目視と合う評価が可能であることが分かる。

【0050】

30

[写像性評価処理フロー]

次に、図15を用いて、実施の形態1に係る写像性評価処理の流れを説明する。図15は、実施の形態1に係る写像性評価処理の流れの例を示すフローチャートである。

【0051】

図15に示すように、評価装置100は、光源110を点灯し、投影処理を実行する(ステップS101)。これにより、光源110から照射された光は、テレセントリックレンズ120によって平行光となり、拡散板130に結像される。そして、拡散板130に設けられた投影パターン101の虚像102が、サンプル台140に取り付けられたサンプル145に投影される。

【0052】

40

そして、評価装置100は、ハイパースペクトルカメラ150によりサンプル145に投影された虚像102を撮像し、二次元画像データを取得する(ステップS102)。また、評価装置100は、白色板撮像処理として、サンプル145を撮像するのと並行して基準白色板を撮像し、二次元画像データを取得する(ステップS103)。なお、ステップS103の処理については、写像性の評価よりも前に予め行っておき、得られた二次元画像データを評価部160の記憶装置(例えば、RAM64やHDD等)に格納しておいても良い。

【0053】

続いて、評価装置100は、ハイパースペクトルカメラ150によって撮像された二次元画像データを、 $L^*a^*b^*$ 画像データに変換する(ステップS104)。例えば、評

50

価装置 100 は、サンプル 145 に対する分光データと、基準白色板に対する分光データとから、 $L^* a^* b^*$ 画像データに変換する。その後、評価装置 100 は、 $L^* a^* b^*$ 画像データをもとに、 L^* 画像データを所定閾値で二値化して、投影パターン 101 のエッジの形状の変動量を数値化する（ステップ S105）。

【0054】

そして、評価装置 100 は、二値化された画像データのエッジの変動位置に対して、最小二乗法により近似直線を算出する（ステップ S106）。続いて、評価装置 100 は、近似直線に対して、歪み、すなわちエッジが変動している量をラインごとにそれぞれ算出する（ステップ S107）。その後、評価装置 100 は、エッジの変動量に対してフーリエ変換を行ない、エッジ変動部の周波数特性を算出する（ステップ S108）。そして、
10 評価装置 100 は、エッジ変動部の周波数特性に対して、人間の視覚特性を表すのに用いられる視覚伝達関数（VTF）で重み付けをする（ステップ S109）。

【0055】

続いて、評価装置 100 は、重み付けをされた周波数特性に対して積分を行なう（ステップ S110）。その後、評価装置 100 は、サンプル 145 の積分値に対して、サンプル 145 の色情報を用いて補正を行なう（ステップ S111）。例えば、評価装置 100 は、投影パターン 101 の遮光部の各画素の $L^* a^* b^*$ から平均 $L^* a^* b^*$ を算出し、黒との色差 E_{black} で、積分値を除算する。そして、評価装置 100 は、サンプル 145 の写像性の評価量を（数 2）を用いて算出する（ステップ S112）。なお、上述したように、評価量の算出では、 E_{black} の代わりに、明度差 L^*_{black}
20 を用いても良い。

【0056】

[実施の形態 1 による効果]

上述したように、評価装置 100 は、エッジ成分を有する投影パターン 101 を投影したサンプル 145 を撮像して得られた画像データをもとに、サンプル 145 に写り込んだ投影パターン 101 の虚像の形状の変動量を、色情報を用いて補正し、サンプル 145 表面の写像性を評価する。この結果、評価装置 100 は、高精度に写像性の評価を行なうことができる。

【0057】

また、評価装置 100 は、サンプル 145 表面の色情報を用いて、サンプル 145 に写り込んだ投影パターン 101 の虚像の形状の変動量を補正するので、人間の色感度により対応した写像性の評価を行なうことができる。また、評価装置 100 は、予め取得した主観評価情報に基づいて、サンプル 145 表面の写像性を評価するので、人間の感覚と相関がより高い評価値を算出することができる。
30

【0058】

また、評価装置 100 は、ハイパースペクトルカメラ 150 を用いて、写像性を二次元で計測するので、人間が実際に見ている写像性に対する特長を捉えた評価結果を導出することができる。また、評価装置 100 は、虚像 102 に焦点を合わせて撮像することで、サンプル 145 表面の歪みをより正確に撮像することができる。

【0059】

(実施の形態 2)

上記実施の形態 1 では、ハイパースペクトルカメラ 150 を使用した場合を例に挙げた。カメラについては、3チャンネルの RGB カメラを使用することもできる。そこで、実施の形態 2 では、ハイパースペクトルカメラ 150 の代わりに、RGB カメラを使用する場合を例に挙げて説明する。なお、実施の形態 2 では、実施の形態 1 に係る評価装置 100 と同様の構成については同一の符号を付し、その説明を省略する場合がある。

【0060】

[評価部の機能構成]

図 16 を用いて、実施の形態 2 に係る評価部 160 a の機能構成を説明する。図 16 は、実施の形態 2 に係る評価部 160 a の機能構成例を示すブロック図である。なお、図 1
50

6では、RGBカメラを「撮像部150a」と表している。実施の形態2では、評価装置を適宜「評価装置100a」と呼ぶ場合がある。

【0061】

評価部160aは、画像変換部161aと、二値化処理部162と、エッジ成分線形近似部163と、偏差算出部164と、周波数特性算出部165とを有する。加えて、評価部160aは、視覚特性補正部166と、積分算出部167と、反射特性補正部168と、評価量算出部169とを有する。上記各部は、これらの一部又は全てがソフトウェア(プログラム)で実現されても良いし、ハードウェア回路で実現されても良い。

【0062】

画像変換部161aは、撮像部150a(RGBカメラ)で撮像された画像データを受け付け、XYZ画像データに変換する。例えば、画像変換部161aは、以下の(数3)を用いてXYZ画像データに変換する。(数3)において、i、jは、空間座標である。なお、RGBからXYZに変換する式は、(数3)に限られるものではない。(数3)は、国際電気通信連合(ITU:International Telecommunication Union)によって定義された変換式である。また、デジタルカメラのような一般的なRGBカメラは、計測したRGB値に補正がされていることが多い。このため、XYZ画像データに変換する前に補正をして本来のRGB値にする。

10

【0063】

【数3】

$$\begin{cases} X(i,j)=0.4305 \cdot R(i,j)+0.3415 \cdot G(i,j)+0.1784 \cdot B(i,j) \\ Y(i,j)=0.2220 \cdot R(i,j)+0.7067 \cdot G(i,j)+0.0713 \cdot B(i,j) \\ Z(i,j)=0.0202 \cdot R(i,j)+0.1295 \cdot G(i,j)+0.9394 \cdot B(i,j) \end{cases} \quad \dots(\text{数}3)$$

20

【0064】

[写像性評価処理フロー]

次に、図17を用いて、実施の形態2に係る写像性評価処理の流れを説明する。図17は、実施の形態2に係る写像性評価処理の流れの例を示すフローチャートである。図17では、実施の形態1に係る写像性評価処理と同様の処理についてはその説明を省略する。具体的には、ステップS201~ステップS203は、ステップS101~ステップS103の処理と同様である。また、ステップS205~ステップS213は、ステップS104~ステップS112の処理と同様である。

30

【0065】

図17に示すように、評価装置100aは、RGBカメラである撮像部150aによって撮像された画像データを受け付け、XYZ画像データに変換する(ステップS204)。その後、評価装置100aは、XYZ画像データを、L*a*b*画像データに変換する(ステップS205)。

【0066】

[実施の形態2による効果]

上述したように、評価装置100aは、RGBカメラを用いて、写像性を二次元で計測するので、より安価な構成で写像性の評価を行なうことができる。

40

【0067】

(実施の形態3)

上記実施の形態1では、ハイパースペクトルカメラ150を使用した場合を例に挙げた。また、実施の形態1では、色差 E_{black}と明度差 L^{*}_{black}との相関で寄与率が高いこと(図13参照)、さらに、明度差を用いて補正した場合の写像性評価値と主観評価点との相関で寄与率が高いこと(図14参照)を説明した。このことから、カメラについては、モノクロカメラを使用することもできると考えられる。そこで、実施の形態3では、ハイパースペクトルカメラ150の代わりに、モノクロカメラを使用する場合を例に挙げて説明する。なお、実施の形態3では、実施の形態1に係る評価装置100と同様の構成については同一の符号を付し、その説明を省略する場合がある。

50

【 0 0 6 8 】

[評価部の機能構成]

図 1 8 を用いて、実施の形態 3 に係る評価部 1 6 0 b の機能構成を説明する。図 1 8 は、実施の形態 3 に係る評価部 1 6 0 b の機能構成例を示すブロック図である。なお、図 1 8 では、モノクロカメラを「撮像部 1 5 0 b」と表している。実施の形態 3 では、評価装置を適宜「評価装置 1 0 0 b」と呼ぶ場合がある。

【 0 0 6 9 】

評価部 1 6 0 b は、画像変換部 1 6 1 b と、二値化処理部 1 6 2 と、エッジ成分線形近似部 1 6 3 と、偏差算出部 1 6 4 と、周波数特性算出部 1 6 5 とを有する。加えて、評価部 1 6 0 b は、視覚特性補正部 1 6 6 と、積分算出部 1 6 7 と、反射特性補正部 1 6 8 b と、評価量算出部 1 6 9 とを有する。上記各部は、これらの一部又は全てがソフトウェア（プログラム）で実現されても良いし、ハードウェア回路で実現されても良い。

10

【 0 0 7 0 】

画像変換部 1 6 1 b は、撮像部 1 5 0 b（モノクロカメラ）で撮像された画像データを受け付け、反射率画像データに変換する。例えば、画像変換部 1 6 1 b は、以下の（数 4）を用いて反射率画像データに変換する。（数 4）を用いたサンプル 1 4 5 の反射率画像は、白色板の反射強度を 1 0 0 パーセントとして算出する。（数 4）において、 i 、 j は、空間座標である。

【 0 0 7 1 】

【 数 4 】

$$\text{反射率画像}R = \frac{\text{計測したサンプルの反射強度}(i,j)}{\text{計測した白色板の反射強度}(i,j)} \times 100 \quad \dots(\text{数}4)$$

20

【 0 0 7 2 】

反射特性補正部 1 6 8 b は、サンプル 1 4 5 それぞれの積分値に対して、サンプル 1 4 5 それぞれの反射率情報を用いて補正を行なう。例えば、反射特性補正部 1 6 8 b は、黒の反射率「0」と、サンプル 1 4 5 の表面の反射率との反射率差 R_{black} で、積分算出部 1 6 7 によって算出された積分値を除算する。サンプル 1 4 5 の表面が高反射率であるほど、補正された積分値は小さくなる。実施の形態 1 では、色差 E_{black} のうち、明度差 L^*_{black} の寄与が高いことが判明した。このことから、実施の形態 3 では、ハイパースペクトルカメラ 1 5 0 の代わりに、モノクロカメラを用いて反射率計測を行ない、物体表面の写像性を評価できることを説明した。

30

【 0 0 7 3 】

[写像性評価処理フロー]

次に、図 1 9 を用いて、実施の形態 3 に係る写像性評価処理の流れを説明する。図 1 9 は、実施の形態 3 に係る写像性評価処理の流れの例を示すフローチャートである。図 1 9 では、実施の形態 1 に係る写像性評価処理と同様の処理についてはその説明を省略する。具体的には、ステップ S 3 0 1 ~ ステップ S 3 0 3 は、ステップ S 1 0 1 ~ ステップ S 1 0 3 の処理と同様である。また、ステップ S 3 0 5 ~ ステップ S 3 1 0 は、ステップ S 1 0 5 ~ ステップ S 1 1 1 の処理と同様である。また、ステップ S 3 1 2 は、ステップ S 1 1 2 の処理と同様である。

40

【 0 0 7 4 】

図 1 9 に示すように、評価装置 1 0 0 b は、モノクロカメラである撮像部 1 5 0 b によって撮像された画像データを受け付け、反射率画像データに変換する（ステップ S 3 0 4）。また、評価装置 1 0 0 b は、サンプル 1 4 5 の積分値に対して、サンプル 1 4 5 の反射率情報を用いて補正を行なう（ステップ S 3 1 1）。例えば、評価装置 1 0 0 b は、黒の反射率「0」と、サンプル 1 4 5 の表面の反射率との反射率差 R_{black} で、算出された積分値を除算する。

【 0 0 7 5 】

[実施の形態 3 による効果]

50

上述したように、評価装置 100b は、モノクロカメラを用いて、反射率計測を行ない、サンプル 145 表面の写像性を評価するので、より安価な構成で写像性の評価を行なうことができる。

【0076】

上記文書中や図面中等で示した処理手順、制御手順、具体的名称、各種のデータやパラメータ等を含む情報は、特記する場合を除いて任意に変更することができる。また、図示した装置の各構成要素は、機能概念的なものであり、必ずしも物理的に図示の如く構成されていることを要しない。すなわち、装置の分散又は統合の具体的な形態は、図示のものに限られず、その全部又は一部を各種の負担や使用状況等に応じて、任意の単位で機能的又は物理的に、分散又は統合することができる。

10

【0077】

また、評価部 160 等で実行される評価プログラムは、一つの様態として、インストール可能な形式又は実行可能な形式のファイルで CD-ROM、フレキシブルディスク (FD)、CD-R、DVD (Digital Versatile Disk) 等のコンピュータで読み取り可能な記録媒体に記録されて提供される。また、評価部 160 等で実行される評価プログラムを、インターネット等のネットワークに接続されたコンピュータ上に格納し、ネットワーク経由でダウンロードさせることにより提供するようにしても良い。また、評価部 160 等で実行される評価プログラムをインターネット等のネットワーク経由で提供又は配布するように構成しても良い。また、評価部 160 等で実行される評価プログラムを、ROM 等に予め組み込んで提供するように構成しても良い。

20

【0078】

評価部 160 等で実行される評価プログラムは、上述した各部 (反射特性補正部 168、評価量算出部 169) を少なくとも含むモジュール構成となっており、実際のハードウェアとしては CPU が記憶媒体から評価プログラムを読み出して実行することにより、上記各部が主記憶装置上にロードされ、反射特性補正部 168、評価量算出部 169 が主記憶装置上に生成されるようになっている。

【符号の説明】

【0079】

- 100 評価装置
- 110 光源
- 120 テレセントリックレンズ
- 130 拡散板
- 140 サンプル台
- 145 サンプル
- 150 ハイパースペクトルカメラ
- 160 評価部
- 161 画像変換部
- 162 二値化処理部
- 163 エッジ成分線形近似部
- 164 偏差算出部
- 165 周波数特性算出部
- 166 視覚特性補正部
- 167 積分算出部
- 168 反射特性補正部
- 169 評価量算出部

30

40

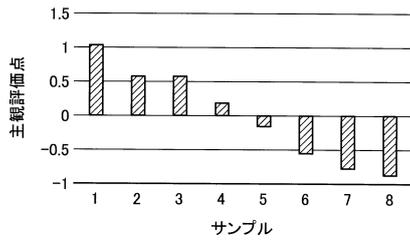
【先行技術文献】

【特許文献】

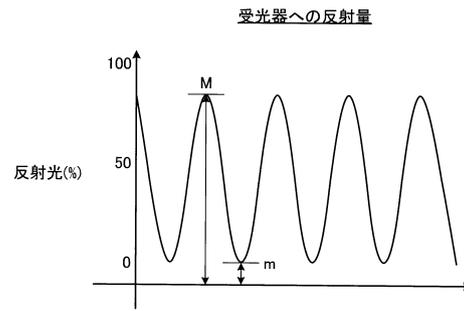
【0080】

【特許文献 1】特許第 4768579 号公報

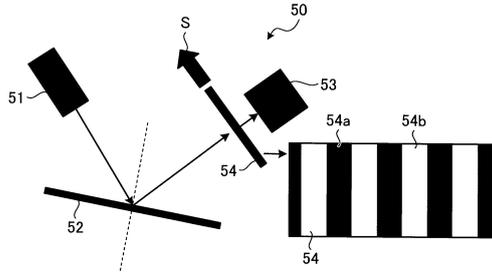
【図1】



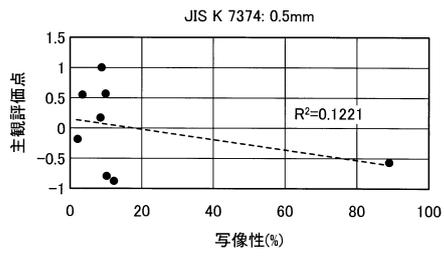
【図3】



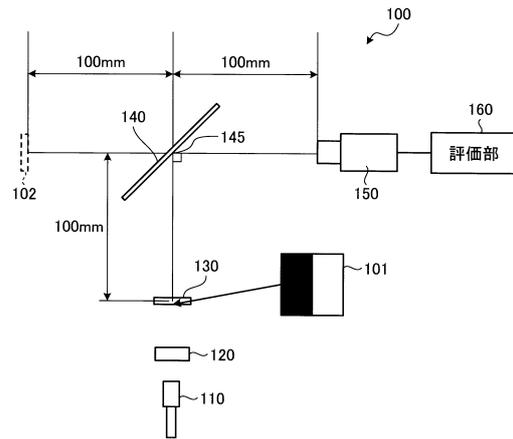
【図2】



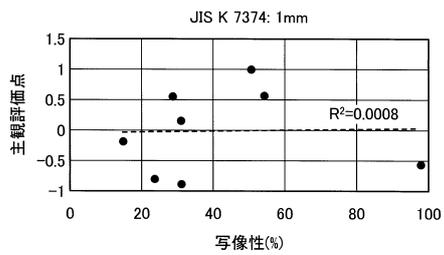
【図4A】



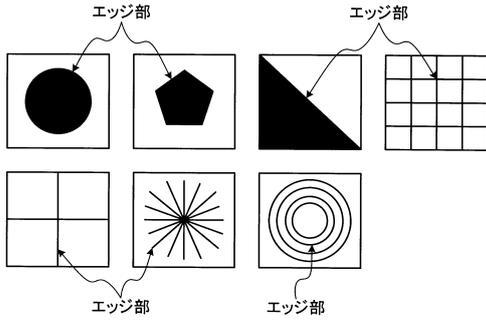
【図5】



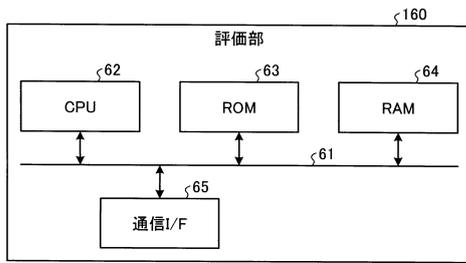
【図4B】



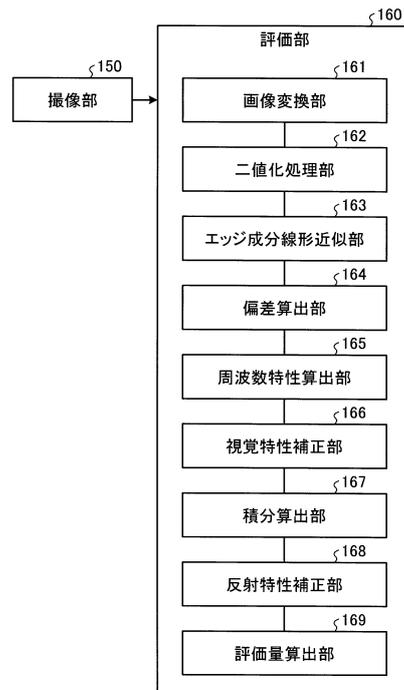
【図 6】



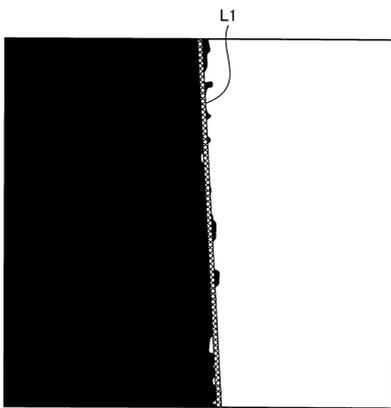
【図 7】



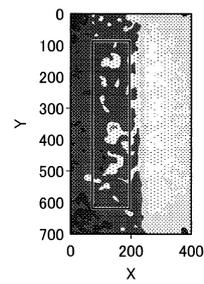
【図 8】



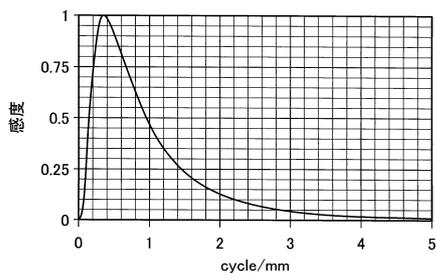
【図 9】



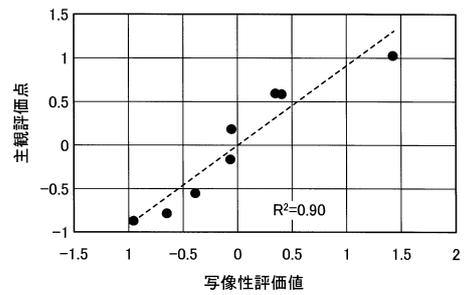
【図 11】



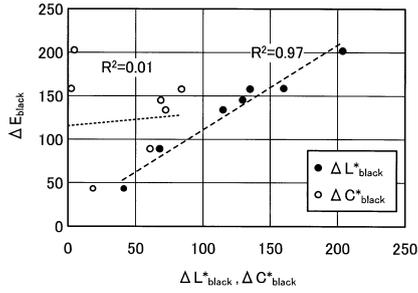
【図 10】



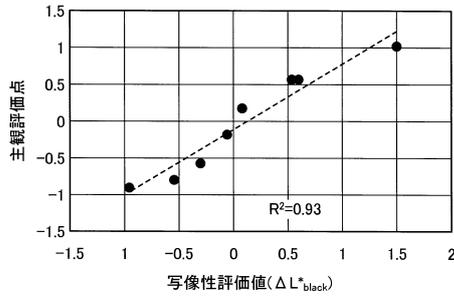
【図 12】



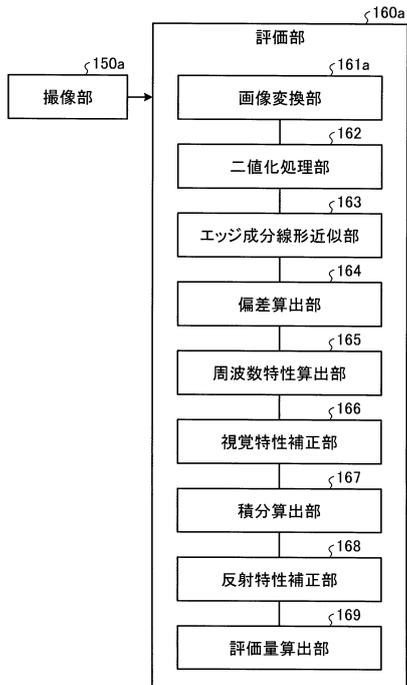
【図13】



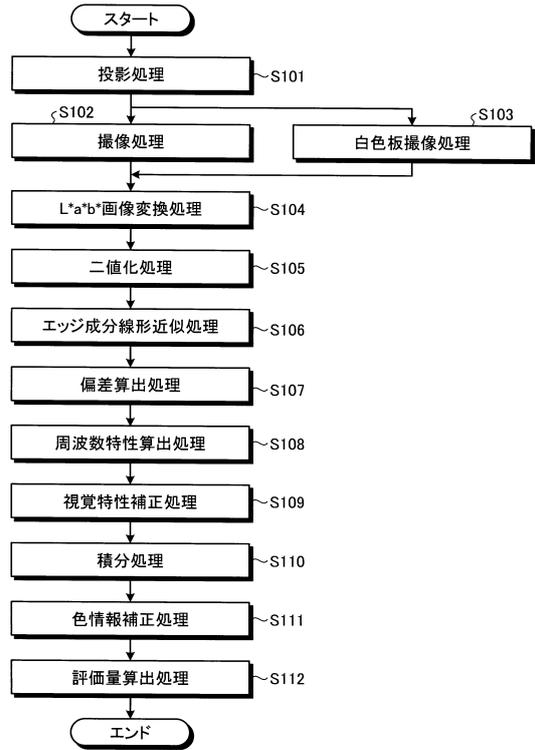
【図14】



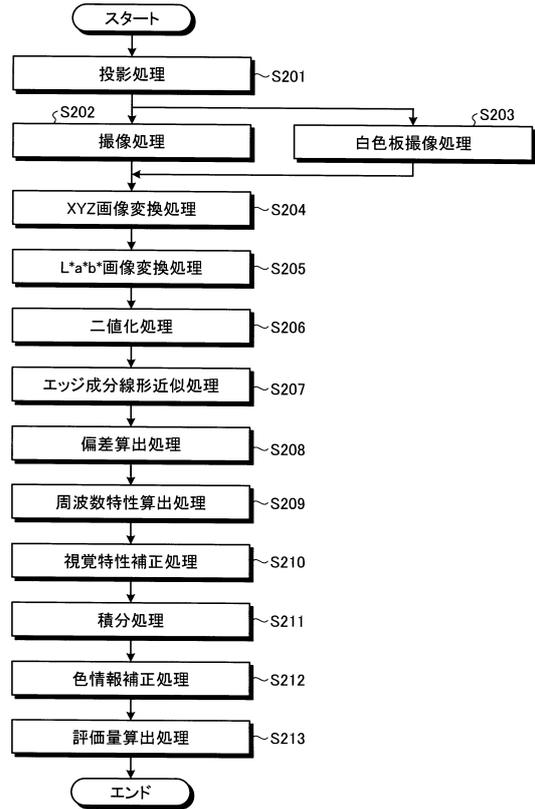
【図16】



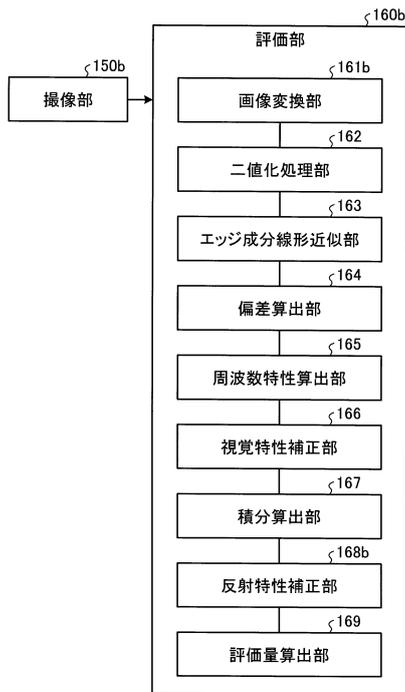
【図15】



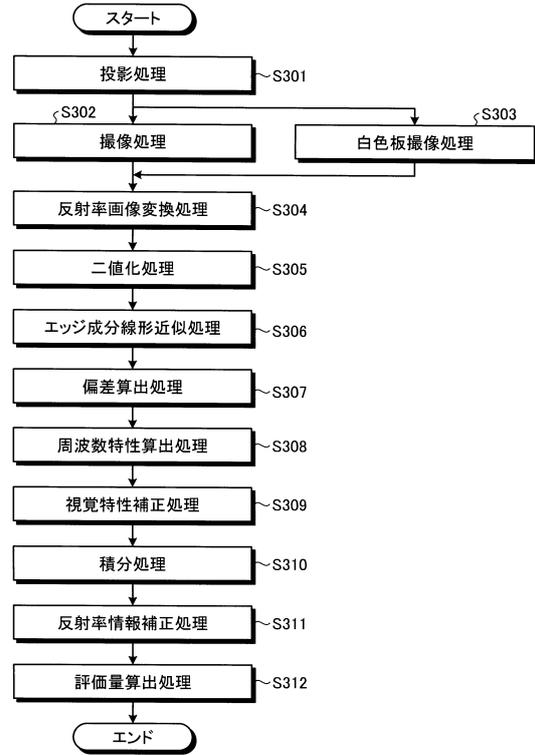
【図17】



【図18】



【図19】



フロントページの続き

- (72)発明者 後藤 隆之
東京都大田区中馬込1丁目3番6号 株式会社リコー内
- (72)発明者 相馬 孝吏
東京都大田区中馬込1丁目3番6号 株式会社リコー内
- (72)発明者 岩松 明宏
東京都大田区中馬込1丁目3番6号 株式会社リコー内

審査官 田中 洋介

- (56)参考文献 特開2015-094602(JP,A)
特開2004-191200(JP,A)
特開2003-083730(JP,A)
特開2001-235319(JP,A)
特開2016-038222(JP,A)
特開2007-155709(JP,A)
米国特許第05155558(US,A)
特開2012-215486(JP,A)
特開2010-216886(JP,A)
特開平10-132532(JP,A)
特開2001-041888(JP,A)
特開2013-113588(JP,A)
特開2002-345760(JP,A)
特開2005-291939(JP,A)
特許第2588297(JP,B2)
特開平11-039486(JP,A)
特開2017-173300(JP,A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

G01N21/00 - G01N21/958
G01B11/00 - G01B11/30
G01J3/00 - G01J3/52