

(19) 日本国特許庁 (JP)

(12) 特 許 公 報 (B2)

(11) 特許番号
特許第4698692号
(P4698692)

(45) 発行日 平成23年6月8日 (2011.6.8)

(24) 登録日 平成23年3月11日 (2011.3.11)

(51) Int.Cl.

F I

GO 1 M 11/00 (2006.01)

GO 1 M 11/00 L

GO 1 M 11/02 (2006.01)

GO 1 M 11/02 B

請求項の数 6 (全 21 頁)

(21) 出願番号	特願2008-45631 (P2008-45631)	(73) 特許権者	501324524
(22) 出願日	平成20年2月27日 (2008.2.27)		アキュートロジック株式会社
(65) 公開番号	特開2009-204382 (P2009-204382A)		東京都中央区八丁堀三丁目2番13号
(43) 公開日	平成21年9月10日 (2009.9.10)		PMO八丁堀 5階
審査請求日	平成22年8月13日 (2010.8.13)	(72) 発明者	劉 暁紅
早期審査対象出願			東京都千代田区神田小川町三丁目7番1号
			ミツワ小川町ビル3階 アキュートロジック株式会社内
		審査官	西村 直史
			最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 MTF測定方法及びMTF測定装置

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

光学像を撮像素子に導くための被検レンズと、
エッジ模様が形成されたチャートと、
マトリックス状に複数の光電変換素子が配置されて、前記被検レンズを介して導かれた前記チャート像を光電変換して画像信号を出力する前記撮像素子と、を用い、
前記撮像素子から出力する前記画像信号に基づいて、前記エッジ模様を含む所定の画素範囲を走査し、前記被検レンズの性能を評価するための指標となるMTF (Modulation Transfer Function) を測定するMTF測定方法であって、
前記被検レンズの光学中心から径方向に延出する所定の法線上に位置して前記撮像素子に結像された前記エッジ模様の、前記撮像素子の画素配置方向に対するエッジの傾斜角を検出するエッジ傾斜角検出ステップと、
前記エッジ傾斜角検出ステップで検出された前記エッジの傾斜角に基づいて、前記エッジの傾斜角が前記画素配置方向に対して所定の角度になるように、前記エッジ模様を含む所定の画像範囲を傾斜させるエッジ模様傾斜ステップと、
前記エッジ模様傾斜ステップで傾斜された前記エッジ模様を含む所定の画像範囲を前記撮像素子の傾斜前の画素配置に投影して、前記撮像素子の傾斜前の画素配置における画素毎の画素値を、該画素を囲む前記傾斜後の画素配置における画素値を用いて補間生成する補間生成ステップと、
前記補間生成ステップによって補間生成された画素値を前記撮像素子の画素配置方向に

10

20

走査して前記 M T F を測定する M T F 測定ステップと、
を備え、

前記被検レンズの光学中心から前記エッジ模様のエッジ延出方向に対して所定の角度だけ傾斜する法線及び該法線に直交する接線の少なくとも一方向に沿って、前記 M T F を測定することを特徴とする M T F 測定方法。

【請求項 2】

光学像を撮像素子に導くための被検レンズと、

エッジ模様が形成されたチャートと、

マトリックス状に複数の光電変換素子が配置されて、前記被検レンズを介して導かれた前記チャート像を光電変換して画像信号を出力する前記撮像素子と、を用い、

前記撮像素子から出力する前記画像信号に基づいて、前記エッジ模様を含む所定の画素範囲を走査し、前記被検レンズの性能を評価するための指標となる M T F (M o d u l a t i o n T r a n s f e r F u n c t i o n) を測定する M T F 測定方法であって、

前記被検レンズの光学中心から径方向に延出する所定の法線上に位置して前記撮像素子に結像された前記エッジ模様の、前記撮像素子の画素配置方向に対するエッジの傾斜角を検出するエッジ傾斜角検出ステップと、

前記エッジ傾斜角検出ステップで検出された前記エッジの傾斜角に基づいて、前記エッジの傾斜角が前記画素配置方向に対して所定の角度になるように、前記エッジ模様の位置を変えずに、前記所定の画素範囲における画素配置を傾斜させる画素配置傾斜ステップと、

前記画素配置傾斜ステップで傾斜された前記所定の画素範囲における画素配置を前記撮像素子の傾斜前の画素配置に投影して、前記画素配置傾斜ステップで傾斜された画素配置における画素毎の画素値を、該画素を囲む傾斜前の画素配置の画素値を用いて補間生成する傾斜画素補間生成ステップと、

前記傾斜画素補間生成ステップによって補間生成された画素値を前記法線又は該法線に直交する接線に沿って走査して前記 M T F を測定する M T F 測定ステップと、

を備え、

前記被検レンズの光学中心から前記エッジ模様のエッジ延出方向に対して所定の角度だけ傾斜する法線及び該法線に直交する接線の少なくとも一方向に沿って、前記 M T F を測定することを特徴とする M T F 測定方法。

【請求項 3】

前記 M T F 測定ステップで測定された M T F を、空間周波数毎に、前記エッジ傾斜角検出ステップで検出された前記エッジの傾斜角に対応付けて補正する M T F 補正ステップを備えている、

ことを特徴とする請求項 1 又は請求項 2 に記載の M T F 測定方法。

【請求項 4】

エッジ模様が形成されたチャートと、

マトリックス状に複数の光電変換素子が配置されて、前記被検レンズを介して導かれた前記チャート像を光電変換して画像信号を出力する前記撮像素子と、を備え、

前記撮像素子から出力する前記画像信号に基づいて、前記エッジ模様を含む所定の画素範囲を走査し、前記被検レンズの性能を評価するための指標となる M T F (M o d u l a t i o n T r a n s f e r F u n c t i o n) を測定する M T F 測定装置であって、

前記被検レンズの光学中心から径方向に延出する所定の法線上に位置して前記撮像素子に結像された前記エッジ模様の、前記撮像素子の画素配置方向に対するエッジの傾斜角を検出するエッジ傾斜角検出手段と、

前記エッジ傾斜角検出手段で検出された前記エッジの傾斜角に基づいて、前記エッジの傾斜角が前記画素配置方向に対して所定の角度になるように、前記エッジ模様を含む所定の画像範囲を傾斜させるエッジ模様傾斜手段と、

前記エッジ模様傾斜手段で傾斜された前記エッジ模様を含む所定の画像範囲を前記撮像素子の傾斜前の画素配置に投影して、前記撮像素子の傾斜前の画素配置における画素毎の

画素値を、該画素を囲む前記傾斜後の画素配置における画素値を用いて補間生成する補間生成手段と、

前記補間生成手段によって補間生成された画素値を前記撮像素子の画素配置方向に走査して前記MTFを測定するMTF測定手段と、

を備え、

前記被検レンズの光学中心から前記エッジ模様のエッジ延出方向に対して所定の角度だけ傾斜する法線及び該法線に直交する接線の少なくとも一方向に沿って、前記MTFを測定するように構成されていることを特徴とするMTF測定装置。

【請求項5】

光学像を撮像素子に導くための被検レンズと、

エッジ模様が形成されたチャートと、

マトリックス状に複数の光電変換素子が配置されて、前記被検レンズを介して導かれた前記チャート像を光電変換して画像信号を出力する前記撮像素子と、を備え、

前記撮像素子から出力する前記画像信号に基づいて、前記エッジ模様を含む所定の画素範囲を走査し、前記被検レンズの性能を評価するための指標となるMTF (Modulation Transfer Function) を測定するMTF測定装置であって、

前記被検レンズの光学中心から径方向に延出する所定の法線上に位置して前記撮像素子に結像された前記エッジ模様の、前記撮像素子の画素配置方向に対するエッジの傾斜角を検出するエッジ傾斜角検出手段と、

前記エッジ傾斜角検出手段で検出された前記エッジの傾斜角に基づいて、前記エッジの傾斜角が前記画素配置方向に対して所定の角度になるように、前記エッジ模様の位置を変えずに、前記所定の画素範囲における画素配置を傾斜させる画素配置傾斜手段と、

前記画素配置傾斜手段で傾斜された前記所定の画素範囲における画素配置を前記撮像素子の傾斜前の画素配置に投影して、前記画素配置傾斜手段で傾斜された画素配置における画素毎の画素値を、該画素を囲む傾斜前の画素配置の画素値を用いて補間生成する傾斜画素補間生成手段と、

前記傾斜画素補間生成手段によって補間生成された画素値を前記法線又は該法線に直交する接線に沿って走査して前記MTFを測定するMTF測定手段と、

を備え、

前記被検レンズの光学中心から前記エッジ模様のエッジ延出方向に対して所定の角度だけ傾斜する法線及び該法線に直交する接線の少なくとも一方向に沿って、前記MTFを測定するように構成されていることを特徴とするMTF測定装置。

【請求項6】

前記MTF測定手段で測定されたMTFを、空間周波数毎に、前記エッジ傾斜角検出手段で検出された前記エッジの傾斜角に対応付けて補正するMTF補正手段を備えている、

ことを特徴とする請求項4又は請求項5に記載のMTF測定装置。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、カメラなどの撮像装置において、レンズ及び撮像系の品質評価を行うためのパラメータとしてのMTF (Modulation Transfer Function) を求めるMTF測定方法及びMTF測定装置に関する。

【背景技術】

【0002】

従来、カメラなどの撮像装置に用いられる撮像レンズ（所謂、本発明における被検レンズである）の品質を評価する方法として、投影解像力による品質評価方法やMTFによる品質評価方法が知られている。

【0003】

投影解像力による品質評価方法は、撮像レンズを介して間隔が疎から密へと除々に変化する縞模様を投影し、その投影された縞模様をどの程度の間隔まで1本1本の縞模様として捉えることができるか否かを目視検査によって評価するものであって、検査員による評価バラツキが発生し易く、精度の高い評価データを得ることが困難であった。

【0004】

一方、MTFによる品質評価方法は、MTFが撮像レンズをシステムとしてみた場合の幾何学的な伝達係数であって周波数領域でみたコントラストの変調を表し(所謂、撮像レンズの空間周波数特性を表す)、撮像レンズを介して出力した像質を表すためのパラメータとしてMTFを用いることができ、この際、検査員の目視検査による評価バラツキを低減できる。

10

【0005】

MTFの測定の際には、被検対象である撮像レンズと、エッジ画像を有するチャートと、複数の光電変換素子が並設されて前記エッジ画像を画素毎の電気信号に変換して出力する撮像素子(例えば、CCD: Charge Coupled Devices、CMOS: Complementary Metal Oxide Semiconductor等)とが用いられ、撮像素子から出力されたエッジ画像の画像信号を用いてMTFが算出される。

【0006】

MTFは、画像のエッジ部分を含む画素範囲を、画素配置方向に走査してステップ応答として捉え、そのステップ応答した画像データを微分して像の強度分布を表すLSF(Line Speed Function)波形とし、そのLSF波形をフーリエ変換することによって、レンズ評価のための変調伝達関数として得られる。

20

【0007】

また、一般に、MTFは、被検レンズ光学中心から径方向に向かう法線と、この法線に直交する接線との両方向に沿って測定され、法線方向に沿ってMTFを測定する際には、法線が画素配置方向に対して略直交するように被検レンズとエッジ模様との相対位置が設定され、一方、接線方向にMTFを測定する際には、接線が画素配置方向に対して略直交するように被検レンズとエッジ模様との相対位置が設定される(例えば、特許文献1、2、3参照)。

【特許文献1】特開2001-324413号公報

30

【特許文献2】特開平9-98292号公報

【特許文献3】特開平10-142102号公報

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0008】

しかしながら、従来のMTF測定方法によれば、画素配置方向に対して傾斜する法線又は接線方向に沿ってMTFを測定する際には、法線及び接線が画素配置方向に一致するように撮像素子又は被検レンズを回動させる工程と、チャートのエッジ方向を画素配置方向に合わせる工程とが必要になるので、これらの工程を構成するための装置が複雑となり、MTFの測定が容易でなく、且つ、MTFの測定精度を損なう虞があった。

40

【0009】

そこで、本発明は、被検レンズの光学中心から径方向に向かって任意の傾斜角を有する法線及び接線に沿ってMTFを測定する際に、撮像素子や被検レンズを回動させたりチャートのエッジ方向を調整したりすること無く、MTFを容易に且つ精度良く測定できるMTF測定方法及びMTF測定装置を提供することを目的とする。

【課題を解決するための手段】

【0010】

かかる目的を達成するためになされた請求項1に記載の発明は、光学像を撮像素子に導くための被検レンズと、エッジ模様が形成されたチャートと、マトリックス状に複数の光電変換素子が配置されて、前記被検レンズを介して導かれた前記チャート像を光電変換し

50

て画像信号を出力する前記撮像素子と、を用い、前記撮像素子から出力する前記画像信号に基づいて、前記エッジ模様を含む所定の画素範囲を走査し、前記被検レンズの性能を評価するための指標となるMTF (Modulation Transfer Function) を測定するMTF測定方法であって、前記被検レンズの光学中心から径方向に延出する所定の法線上に位置して前記撮像素子に結像された前記エッジ模様の、前記撮像素子の画素配置方向に対するエッジの傾斜角を検出するエッジ傾斜角検出ステップと、前記エッジ傾斜角検出ステップで検出された前記エッジの傾斜角に基づいて、前記エッジの傾斜角が前記画素配置方向に対して所定の角度になるように、前記エッジ模様を含む所定の画像範囲を傾斜させるエッジ模様傾斜ステップと、前記エッジ模様傾斜ステップで傾斜された前記エッジ模様を含む所定の画像範囲を前記撮像素子の傾斜前の画素配置に投影して、前記撮像素子の傾斜前の画素配置における画素毎の画素値を、該画素を囲む前記傾斜後の画素配置における画素値を用いて補間生成する補間生成ステップと、前記補間生成ステップによって補間生成された画素値を前記撮像素子の画素配置方向に走査して前記MTFを測定するMTF測定ステップと、を備え、前記被検レンズの光学中心から前記エッジ模様のエッジ延出方向に対して所定の角度だけ傾斜する法線及び該法線に直交する接線の少なくとも一方向に沿って、前記MTFを測定することを特徴とする。

10

【0011】

請求項1に記載のMTF測定方法は、被検レンズの光学中心から径方向に延出する所定の法線上に位置して撮像素子に結像されたエッジ模様の、撮像素子の画素配置方向に対するエッジの傾斜角を検出するエッジ傾斜角検出ステップと、エッジ傾斜角検出ステップで検出されたエッジの傾斜角に基づいて、エッジの傾斜角が画素配置方向に対して所定の角度になるように、エッジ模様を含む所定の画像範囲を傾斜させるエッジ模様傾斜ステップと、エッジ模様傾斜ステップで傾斜されたエッジ模様を含む所定の画像範囲を撮像素子の傾斜前の画素配置に投影して、撮像素子の傾斜前の画素配置における画素毎の画素値を、該画素を囲む傾斜後の画素配置における画素値を用いて補間生成する補間生成ステップと、補間生成ステップによって補間生成された画素値を撮像素子の画素配置方向に走査してMTFを測定するMTF測定ステップと、を備えているので、撮像素子や被検レンズを回転させたりチャートのエッジ方向を調整したりすること無く、被検レンズの光学中心から径方向に向かって任意の傾斜角を有する法線及びこの法線に直交する接線に沿って、MTFを精度良く測定できる。

20

30

【0012】

次に、請求項2に記載の発明は、光学像を撮像素子に導くための被検レンズと、エッジ模様が形成されたチャートと、マトリックス状に複数の光電変換素子が配置されて、前記被検レンズを介して導かれた前記チャート像を光電変換して画像信号を出力する前記撮像素子と、を用い、前記撮像素子から出力する前記画像信号に基づいて、前記エッジ模様を含む所定の画素範囲を走査し、前記被検レンズの性能を評価するための指標となるMTF (Modulation Transfer Function) を測定するMTF測定方法であって、前記被検レンズの光学中心から径方向に延出する所定の法線上に位置して前記撮像素子に結像された前記エッジ模様の、前記撮像素子の画素配置方向に対するエッジの傾斜角を検出するエッジ傾斜角検出ステップと、前記エッジ傾斜角検出ステップで検出された前記エッジの傾斜角に基づいて、前記エッジの傾斜角が前記画素配置方向に対して所定の角度になるように、前記エッジ模様の位置を変えずに、前記所定の画素範囲における画素配置を傾斜させる画素配置傾斜ステップと、前記画素配置傾斜ステップで傾斜された前記所定の画素範囲における画素配置を前記撮像素子の傾斜前の画素配置に投影して、前記画素配置傾斜ステップで傾斜された画素配置における画素毎の画素値を、該画素を囲む傾斜前の画素配置の画素値を用いて補間生成する傾斜画素補間生成ステップと、前記

40

50

傾斜画素補間生成ステップによって補間生成された画素値を前記法線又は該法線に直交する接線に沿って走査して前記MTFを測定するMTF測定ステップと、を備え、前記被検レンズの光学中心から前記エッジ模様のエッジ延出方向に対して所定の角度だけ傾斜する法線及び該法線に直交する接線の少なくとも一方向に沿って、前記MTFを測定することを特徴とする。

【0013】

請求項2に記載のMTF測定方法は、被検レンズの光学中心から径方向に延出する所定の法線上に位置して撮像素子に結像されたエッジ模様の、撮像素子の画素配置方向に対するエッジの傾斜角を検出するエッジ傾斜角検出ステップと、エッジ傾斜角検出ステップで検出されたエッジの傾斜角に基づいて、エッジの傾斜角が画素配置方向に対して所定の角度になるように、エッジ模様の位置を変えずに、所定の画素範囲における画素配置を傾斜させる画素配置傾斜ステップと、画素配置傾斜ステップで傾斜された所定の画素範囲における画素配置を撮像素子の傾斜前の画素配置に投影して、画素配置傾斜ステップで傾斜された画素配置における画素毎の画素値を、該画素を囲む傾斜前の画素配置の画素値を用いて補間生成する傾斜画素補間生成ステップと、傾斜画素補間生成ステップによって補間生成された画素値を法線又は該法線に直交する接線に沿って走査してMTFを測定するMTF測定ステップと、を備えているので、撮像素子や被検レンズを回動させたりチャートのエッジ方向を調整したりすること無く、被検レンズの光学中心から径方向に向かって任意の傾斜角を有する法線及びこの法線に直交する接線に沿って、MTFを容易に且つ精度良く測定できる。

【0014】

また、請求項1又は請求項2に記載のMTF測定方法は、請求項3に記載の発明のように、前記MTF測定ステップで測定されたMTFを、空間周波数毎に、前記エッジ傾斜角検出ステップで検出された前記エッジの傾斜角に対応付けて補正するMTF補正ステップを備えていることにより、さらに一層、MTFの測定精度を向上できる。

【0016】

次に、請求項4に記載の発明は、光学像を撮像素子に導くための被検レンズと、エッジ模様が形成されたチャートと、マトリックス状に複数の光電変換素子が配置されて、前記被検レンズを介して導かれた前記チャート像を光電変換して画像信号を出力する前記撮像素子と、を備え、前記撮像素子から出力する前記画像信号に基づいて、前記エッジ模様を含む所定の画素範囲を走査し、前記被検レンズの性能を評価するための指標となるMTF (Modulation Transfer Function) を測定するMTF測定装置であって、前記被検レンズの光学中心から径方向に延出する所定の法線上に位置して前記撮像素子に結像された前記エッジ模様の、前記撮像素子の画素配置方向に対するエッジの傾斜角を検出するエッジ傾斜角検出手段と、前記エッジ傾斜角検出手段で検出された前記エッジの傾斜角に基づいて、前記エッジの傾斜角が前記画素配置方向に対して所定の角度になるように、前記エッジ模様を含む所定の画像範囲を傾斜させるエッジ模様傾斜手段と、前記エッジ模様傾斜手段で傾斜された前記エッジ模様を含む所定の画像範囲を前記撮像素子の傾斜前の画素配置に投影して、前記撮像素子の傾斜前の画素配置における画素毎の画素値を、該画素を囲む前記傾斜後の画素配置における画素値を用いて補間生成する補間生成手段と、前記補間生成手段によって補間生成された画素値を前記撮像素子の画素配置方向に走査して前記MTFを測定するMTF測定手段と、を備え、前記被検レンズの光学中心から前記エッジ模様のエッジ延出方向に対して所定の角度だけ傾斜する法線及び該法線に直交する接線の少なくとも一方向に沿って、前記MTFを測定するように構成さ

れていることを特徴とする。

【 0 0 1 7 】

請求項 4 に記載の M T F 測定装置は、被検レンズの光学中心から径方向に延出する所定の法線上に位置して撮像素子に結像されたエッジ模様の、撮像素子の画素配置方向に対するエッジの傾斜角を検出するエッジ傾斜角検出手段と、エッジ傾斜角検出手段で検出されたエッジの傾斜角に基づいて、エッジの傾斜角が画素配置方向に対して所定の角度になるように、エッジ模様を含む所定の画像範囲を傾斜させるエッジ模様傾斜手段と、エッジ模様傾斜手段で傾斜されたエッジ模様を含む所定の画像範囲を撮像素子の傾斜前の画素配置に投影して、撮像素子の傾斜前の画素配置における画素毎の画素値を、該画素を囲む傾斜後の画素配置における画素値を用いて補間生成する補間生成手段と、補間生成手段によって補間生成された画素値を撮像素子の画素配置方向に走査して M T F を測定する M T F 測定手段と、を備えているので、請求項 1 に記載の発明と同様に、撮像素子や被検レンズを回動させたりチャートのエッジ方向を調整したりすること無く、被検レンズの光学中心から径方向に向かって任意の傾斜角を有する法線及びこの法線に直交する接線に沿って、M T F を容易に且つ精度良く測定できる。

10

【 0 0 1 8 】

次に、請求項 5 に記載の発明は、光学像を撮像素子に導くための被検レンズと、エッジ模様が形成されたチャートと、マトリックス状に複数の光電変換素子が配置されて、前記被検レンズを介して導かれた前記チャート像を光電変換して画像信号を出力する前記撮像素子と、を備え、前記撮像素子から出力する前記画像信号に基づいて、前記エッジ模様を含む所定の画素範囲を走査し、前記被検レンズの性能を評価するための指標となる M T F (M o d u l a t i o n T r a n s f e r F u n c t i o n) を測定する M T F 測定装置であって、前記被検レンズの光学中心から径方向に延出する所定の法線上に位置して前記撮像素子に結像された前記エッジ模様の、前記撮像素子の画素配置方向に対するエッジの傾斜角を検出するエッジ傾斜角検出手段と、前記エッジ傾斜角検出手段で検出された前記エッジの傾斜角に基づいて、前記エッジの傾斜角が前記画素配置方向に対して所定の角度になるように、前記エッジ模様の位置を変えずに、前記所定の画素範囲における画素配置を傾斜させる画素配置傾斜手段と、前記画素配置傾斜手段で傾斜された所定の画素範囲における画素配置を前記撮像素子の傾斜前の画素配置に投影して、前記画素配置傾斜手段で傾斜された画素配置における画素毎の画素値を、該画素を囲む傾斜前の画素配置の画素値を用いて補間生成する傾斜画素補間生成手段と、前記傾斜画素補間生成手段によって補間生成された画素値を前記法線又は該法線に直交する接線に沿って走査し、前記 M T F を測定する M T F 測定手段と、を備え、前記被検レンズの光学中心から前記エッジ模様のエッジ延出方向に対して所定の角度だけ傾斜する法線及び該法線に直交する接線の少なくとも一方向に沿って、前記 M T F を測定するように構成されていることを特徴とする。

20

30

40

【 0 0 1 9 】

請求項 5 に記載の M T F 測定装置は、被検レンズの光学中心から径方向に延出する所定の法線上に位置して撮像素子に結像されたエッジ模様の、撮像素子の画素配置方向に対するエッジの傾斜角を検出するエッジ傾斜角検出手段と、エッジ傾斜角検出手段で検出されたエッジの傾斜角に基づいて、エッジの傾斜角が画素配置方向に対して所定の角度になるように、エッジ模様の位置を変えずに、所定の画素範囲における画素配置を傾斜させる画素配置傾斜手段と、画素配置傾斜手段で傾斜された所定の画素範囲における画素配置を撮像素子の傾斜前の画素配置に投影して、画素配置傾斜手段で傾斜された画素配置における画素毎の画素値を、該画素を囲む傾斜前の画素配置の画素値を用いて補間生成する傾斜画

50

素補間生成手段と、傾斜画素補間生成手段によって補間生成された画素値を法線又は該法線に直交する接線に沿って走査してMTFを測定するMTF測定手段と、を備えているので、請求項2に記載の発明と同様に、撮像素子や被検レンズを回動させたりチャートのエッジ方向を調整したりすること無く、被検レンズの光学中心から径方向に向かって任意の傾斜角を有する法線及びこの法線に直交する接線に沿って、MTFを容易に且つ精度良く測定できる。

【0020】

また、請求項4又は請求項5に記載のMTF測定装置は、請求項6に記載の発明のように、前記MTF測定手段で測定されたMTFを、空間周波数毎に、前記エッジ傾斜角検出手段で検出された前記エッジの傾斜角に対応付けて補正するMTF補正手段を備えていることにより、さらに一層、MTFの測定精度を向上できる。

10

【発明の効果】

【0022】

本発明の第1の態様におけるMTF測定方法及びMTF測定装置は、被検レンズの光学中心から径方向に延出する所定の法線上に位置して撮像素子に結像されたエッジ模様の、撮像素子の画素配置方向に対するエッジの傾斜角を検出し、次いで、検出されたエッジの傾斜角に基づいて、エッジの傾斜角が画素配置方向に対して所定の角度になるように、エッジ模様を含む所定の画像範囲を傾斜させ、次いで、傾斜されたエッジ模様を含む所定の画像範囲を撮像素子の傾斜前の画素配置に投影して、撮像素子の傾斜前の画素配置における画素毎の画素値を、該画素を囲む傾斜後の画素配置における画素値を用いて補間生成し、次いで、補間生成された画素値を撮像素子の画素配置方向に走査してMTFを測定することにより、撮像素子や被検レンズを回動させたりチャートのエッジ方向を調整したりすること無く、画素配列方向に傾斜して被検レンズの光学中心から径方向に向かって任意の傾斜角を有する法線及びこの法線に直交する接線に沿って、MTFを容易に且つ精度良く測定できる。

20

30

【0023】

また、本発明の第2の態様におけるMTF測定方法及びMTF測定装置は、被検レンズの光学中心から径方向に延出する所定の法線上に位置して撮像素子に結像されたエッジ模様の、撮像素子の画素配置方向に対するエッジの傾斜角を検出し、次いで、検出されたエッジの傾斜角に基づいて、エッジの傾斜角が画素配置方向に対して所定の角度になるように、エッジ模様の位置を変えずに、所定の画素範囲における画素配置を傾斜させ、次いで、傾斜された所定の画素範囲における画素配置を撮像素子の傾斜前の画素配置に投影して、画素配置傾斜ステップで傾斜された画素配置における画素毎の画素値を、該画素を囲む傾斜前の画素配置の画素値を用いて補間生成し、次いで、補間生成された画素値を法線又は該法線に直交する接線に沿って走査してMTFを測定することにより、撮像素子や被検レンズを回動させたりチャートのエッジ方向を調整したりすること無く、画素配列方向に対して傾斜して被検レンズの光学中心から径方向に向かって任意の傾斜角を有する法線及びこの法線に直交する接線に沿って、MTFを容易に且つ精度良く測定できる。

40

【0024】

また、本発明の第1及び第2の態様におけるMTF測定方法及びMTF測定装置は、測定されたMTFを、空間周波数毎に、検出されたエッジの傾斜角に対応付けて補正したりすることにより、さらに一層、MTFの測定精度を向上できる。

50

【発明を実施するための最良の形態】

【0025】

(第1の実施形態)

次に、本発明のMTF測定方法及びMTF測定装置の第1の実施形態を図面にもとづいて説明する。

【0026】

図1は、第1の実施形態のMTF測定装置の構成を表すブロック図、図2は、同実施形態における、チャートの配置及びエッジ傾斜角の検出動作を表す図である。

10

【0027】

図3は、同実施形態における、画素配置方向に対して傾斜した法線及び接線方向に沿ってMTF測定範囲を設定する動作説明図であって、図3(a)が、画素配置方向に対して傾斜したエッジ模様を表した図、図3(b)が、画素配置方向に対してエッジ模様を含む所定の画像範囲を傾斜させる説明図、図3(c)が、MTFを測定する際の画素走査方向を表した図、図3(d)が傾斜させた画像範囲における画素値の補間生成方法を表した図である。

【0028】

図4は、同実施形態におけるMTFの測定動作を表した図、図5は、同実施形態におけるMTFの補正方法を表した図、図6は、同実施形態のMTF測定装置で測定されたMTF曲線図である。

20

【0029】

図7は、同実施形態におけるMTF測定方法の手順を表したフローチャート、図8が図7のフローチャートにおけるMTF演算の手順を表したフローチャートである。

【0030】

図1に表したように、本実施形態のMTF測定装置1は、被検レンズLeの品質評価を行うものであって、被検レンズLeを介して導かれたチャートCH像を光電変換して複数の画素信号を出力する撮像素子(例えば、Charge Coupled Devicesである)2、撮像素子2から出力されるアナログ画像信号をデジタル画像信号に変換して出力するA/D変換器3、A/D変換器3から出力されたデジタル画像信号を画素のアドレスに対応付けて記憶するメモリ4、等を備えている。

30

【0031】

また、MTF測定装置1は、CPU14からの指令信号に応じて、撮像素子2及びA/D変換器3を所定の周期で制御するTG(Timing Generator)17、被検レンズLeの光軸方向のスライド駆動を行うレンズ駆動部18、センサ19aを介して被検レンズ2の光軸方向(図中のX方向)スライド量を検出するレンズ検出部19等を備えている。そして、チャートCH像が撮像素子2に合焦するように、被検レンズLeが、レンズ駆動部18を介して光軸方向に調整される。

【0032】

また、MTF測定装置1は、メモリ4からチャートCHのエッジ模様を含む所定の画像データを取得するエッジ画像取得部5、エッジ画像取得部5で取得した画像データに基づいてエッジ模様のエッジ傾斜角を検出するエッジ傾斜角検出部6、エッジ傾斜角検出部6で検出されたエッジ傾斜角に基づいてエッジ模様を含む所定の画像範囲を傾斜させるエッジ模様傾斜部7、エッジ模様傾斜部7で傾斜された所定の画像範囲の画素値を補間生成する画素値補間生成部8、画素値補間生成部8で生成された画素値を用いてMTFを測定するMTF測定手段9、CPU(Central Processing Unit)14、測定されたMTFを一時的に記憶するバッファ15、ROM(Read Only Memory)16等を備え、CPU14が、ROM16に格納された制御用プログラムに従って、当該MTF測定装置1の各処理を制御する。

40

【0033】

50

また、MTF測定手段9は、エッジ模様P0～P4毎に、所定の画素範囲を走査してMTFを演算するMTF演算部10、MTF演算部10で演算されたMTFを補正するMTF補正部11、空間周波数に対応付けてMTF曲線を生成するMTF曲線生成部12、MTF補正部11でMTFを補正する際の補正係数を格納した補正係数記憶部13、等によって構成されている。

【0034】

図2(a)に表したように、チャートCHには、被検レンズLeの光学中心Cに対応する位置にエッジ模様P0が配置されていると共に、光学中心Cの同心円Ci状であって光学中心Cから径方向に延出する法線N1～N4上に、複数のエッジ模様P1～P4が配置されている。また、予め、法線N1～N4に対して、エッジ模様P1～P4のエッジが、

10

【0035】

また、MTF測定装置1は、後述するように、各エッジ模様に対応付けて、光学中心C近傍における画素配置方向にMTFを測定すると共に、法線N1～N4方向及び接線T1～T4方向にMTFを測定するように構成されている。

【0036】

エッジ画像取得部5は、エッジ模様P0～P4毎に、エッジ模様を含む所定の画像範囲(例えば、図3(a)におけるAである)の画素データを取得する。以下、代表例として、エッジ模様P2を用い、その法線N2及び接線T2方向に沿ってMTFを測定する際の説明を行う。

20

【0037】

次いで、エッジ傾斜角検出部6は、図2(b)～(e)に表したように、撮像素子2の画素配置方向をxy方向として表した際に、取り込んだチャートCHのエッジ模様P2に対して、x方向にスキャンして画素値を微分してピークを求める。次いで、スキャン位置をy方向にずらして前述の工程を繰り返し、ピーク点の、yの値に対応するx方向の座標を求める。次いで、この複数のピーク点のxy座標に対して、最小二乗法などの直線方程式を用い、フィッティングする直線の角度を求める。

【0038】

次いで、エッジ模様傾斜部7は、図3(a)、(b)に表したように、エッジ傾斜角検出部6で検出されたエッジEの傾斜角に基づいて、エッジEの傾斜角が撮像素子2の画素配置方向に対して所定の角度になるように、エッジ模様P2及びエッジ模様P2を含む所定の画像範囲Aを傾斜させる。図3(b)において、Asが傾斜後の画像範囲を表し、P2sが傾斜後のエッジ模様を表している。

30

【0039】

次いで、画素値補間生成部8は、図3(c)、(d)に表したように、エッジ模様傾斜部7で傾斜された画像範囲Asの傾斜前の画素配置における画素毎の画素値(D)を、該画素(D)を囲む傾斜後の画素配置における画素の画素値(A1～A4)から補間生成する。詳しくは、エッジ模様傾斜部7で傾斜された及び所定の画像範囲As及びエッジ模様P2sを、撮像素子2の傾斜前の画素配置(画素配置R)に投影し、画素配置Rの画素座標に対応付けた画素値を生成する。

40

【0040】

また、図3(d)に表したように、画素配置Rの画素座標における画素値Dを、この画素Dを囲む画素A1、画素A2、画素A3、画素A4の画素値を用い、 $D = k \times ((1/R1) \times A1 + (1/R2) \times A2 + (1/R3) \times A3 + (1/R4) \times A4)$ 、の演算式を用いて算出する。

【0041】

この演算式において、A1、A2、A3、A4、Dが、夫々、画素A1、画素A2、画素A3、画素A4、画素Dの輝度(所謂、本発明の画素値である。)を表し、R1、R2

50

、 R_3 、 R_4 が、夫々、画素Dから画素A1の距離、画素Dから画素A2の距離、画素Dから画素A3の距離、画素Dから画素A4の距離を表し、 k が、補正係数である。

【0042】

つまり、画素値補間生成部8は、補間生成された画素値Dが傾斜前の画素配置を法線N2に直交するように配置変換した際の画素値であって、画素値Dを補間生成することによって、傾斜前のエッジ模様P2及びこのエッジ模様P2を含む所定の画像範囲の、法線N2方向に沿った画素座標に対応する画素値を生成する。

【0043】

次に、MTF測定手段9は、画素値補間生成部8で補間生成された画素値Dを用い、撮像素子2の画素配列方向 x y に沿って画素値を走査することにより、被検レンズLeの法線N2方向及び接線T2方向のMTFを測定する。

【0044】

まず、MTF演算部10は、図4(a)に表したように、チャートCHの撮像模様のエッジの傾斜角度に基づいてサンプリング数を算出し、次いで、算出されたサンプリング数を用いて、画像データを走査して画素値を取得することによりエッジのステップ応答を求め、次いで、ステップ応答を微分することによってエッジのインパルス応答を求め、次いで、インパルス応答をフーリエ変換してMTFを求める。

【0045】

詳しくは、サンプリング数算出部10aでは、チャートCHにおけるエッジの傾斜角度を算出し画像の一方向の走査の基本単位となるサンプリング数P(図4(b)に表したP)を算出する。

【0046】

図4(b)において、画像データのエッジを介して左側の輝度が暗く、右側の輝度が明るく発現している。また、図4(b)は、撮像して得られた画像データを表しており、四角い枠の1つ1つが画素を表し、画素内の、、、、等が画素値を表している。

【0047】

図4(b)に表したように、チャートCHの撮像模様のエッジが垂直方向に対してわずかに傾斜している場合、主走査方向を垂直方向とし、エッジラインが垂直方向に1画素分だけ変位するようにサンプリング数Pを設定する。

【0048】

そして、傾斜角度を求める際には、図4(e)に表したように、チャートCHのエッジに対して、 y 方向(垂直方向)にS個のウィンドウwを配置する。この際、1つのウィンドウは、 x 方向(水平方向)に複数の単位要素を有し、各単位要素のサイズは画素1個分とする。

【0049】

次に、(式1)を用いて、各ウィンドウw内で2次微分を行う。

$$L^w(x) = 2 * P^w(x) - P^w(x-1) - P^w(x+1) \cdots \text{(式1)}$$

【0050】

(式1)において、 $P^w(x)$ がウィンドウw内の点(x , Ey^w)における画素値であり、 $L^w(x)$ がその点における2次微分値である。また、点(x , Ey^w)は、1つの単位要素を x 座標および y 座標の一目盛とした場合の位置であって、 Ey^w が図3(e)中の1, 2, 3, \cdots , Sに相当する。

【0051】

次に、各ウィンドウw内において、2次微分値 $L^w(x)$ の最大値 L_{max}^w と最小値 L_{min}^w を求め、それらの点の x 座標 X_{max}^w 、 X_{min}^w を求め、(式2)を用いて、ウィンドウw内でのエッジ点の x 座標 Ex^w を求める。

$$E x^W = (X_{min}^W * |L_{max}^W| + X_{max}^W * |L_{min}^W|) / (|L_{max}^W| + |L_{min}^W|) \cdots (式2)$$

【0052】

そして、(式2)より得られたエッジ点群からエッジラインの傾斜角度 θ_1 を求め、この際の $\cot \theta_1$ を四捨五入して得られた整数値をサンプリング数 P とする。

【0053】

次に、ステップ応答算出部10bは、図4(c)に表したように、まず、1列目の画素を垂直方向に沿ってサンプリング数 P の分だけスキャンし、1列目のスキャンが終了したら、水平方向にスキャン位置を移し、再び垂直方向に沿ってサンプリング数 P の分だけスキャンし、順次、画像データを垂直方向に沿ってサンプリング数 P ずつスキャンする。

10

【0054】

そして、図4(d)に表したように、各スキャン位置の画素値を取得して、各スキャン位置の画素値を一元的に並べ、エッジのステップ応答を得る。図4(d)は、縦軸に輝度値、横軸にスキャン位置を表している。

【0055】

すなわち、ステップ応答算出部10bにおいて、エッジ付近の画素値を垂直方向にサンプリング数 P ずつスキャンして、スキャンした順番に画素値を並べることにより、エッジのステップ応答を得ることができる。また、図4(d)において、エッジがより明確に捉えられているほど立ち上り又は立下りの勾配が急になって現れる。

20

【0056】

また、インパルス応答算出部10cは、ステップ応答算出部10bで得られたステップ応答を微分することによって像の強度分布を表すインパルス応答に変換する。ここで言う微分は、例えば、ステップ応答の隣接する画素間の差分をとることによって行うことができる。

【0057】

また、MTF算出部10dは、インパルス応答算出部10cにより求められたインパルス応答をフーリエ変換することにより変調伝達関数であるMTFを求める。この際、フーリエ変換することにより、周波数毎に実数部分と虚数部分が得られ、この実数部分と虚数部分をベクトル的に加算することによってMTFを取得する。また、MTFの算出方法については、これに限らず、例えば、ISO(International Organization for Standardization)12233に記載の解像度測定方法を用いてもよい。

30

【0058】

次に、MTF補正部11は、MTF演算部10で算出されたMTFを、補正係数記憶部13に格納された補正係数 m を用いて補正する。

【0059】

補正係数 m は、予め、図2(a)に表したように、エッジ模様 $P_1 \sim P_4$ 及び法線 $N_1 \sim N_4$ を撮像素子2の画素配置 $x-y$ 直線上方向に配置(例えば、図中の P_r の配置である)して測定したMTFを基準のMTF(図5(a)のA)とし、基準のMTFに対して、MTF演算部10で算出されたMTF(図5(a)のB)の差を補正するように設定されている。

40

【0060】

また、補正係数 m は、図5(b)に表したように、予め、傾斜角 θ 毎に空間周波数 F に対応付けて測定され、補正係数記憶部13に格納されている。

【0061】

次に、図6に表したように、MTF曲線生成部12は、MTF演算部10を介して算出されたMTFデータに基づいて、横軸に空間周波数、縦軸にコントラストの変調度を表した複数のMTF曲線12a、12b、12c、12d、12eを生成する。また、このM

50

ＴＦ曲線中、破線で示す nL が法線方向に延出するエッジ方向のＭＴＦを表し、実線で示す tL が接線方向に延出するエッジ方向のＭＴＦを表している。

【００６２】

また、ＭＴＦ曲線１２ａ～１２ｅは、複数のエッジ模様Ｐ０～Ｐ４の夫々に対応付けられて生成され、画面中央に配置されたエッジ模様Ｐ０を読み取ったＭＴＦがＭＴＦ曲線１２ａで表され、画面左上に配置されたエッジ模様Ｐ１を読み取ったＭＴＦがＭＴＦ曲線１２ｂで表され、画面右上に配置されたエッジ模様Ｐ４を読み取ったＭＴＦがＭＴＦ曲線１２ｃで表され、画面左下に配置されたエッジ模様Ｐ２を読み取ったＭＴＦがＭＴＦ曲線１２ｄで表され、画面右下に配置されたエッジ模様Ｐ３を読み取ったＭＴＦがＭＴＦ曲線１２ｅで表されている。

10

【００６３】

そして、本実施例のＭＴＦ測定装置１では、ＭＴＦ測定手段９によって測定されたＭＴＦ測定結果及びＭＴＦ曲線がバッファ１５に記憶されると共に、ＭＴＦ測定結果及びＭＴＦ曲線を表示する表示装置（図示せず）が備えられている。

【００６４】

なお、本発明の請求項４におけるエッジ傾斜角検出手段がエッジ傾斜角検出部６によってその機能が発現され、本発明の請求項４におけるエッジ模様傾斜手段がエッジ模様傾斜部７によってその機能が発現され、本発明の請求項４における補間生成手段が画素値補間生成部８によってその機能が発現され、本発明の請求項６におけるＭＴＦ補正手段がＭＴＦ補正部１１及び補正係数記憶部１３等によってその機能が発現される。

20

【００６５】

次に、図７、図８を用いて、第１の実施形態におけるＭＴＦ測定方法の手順を説明する。この、この手順は、ＣＰＵ１４がＲＯＭ１６に格納されたプログラムにもとづいて、各機能部に指令信号を与えて実行する。また、図７、図８におけるＳはステップを表している。

【００６６】

まず、この手順は、オペレータによってＭＴＦ測定装置１に起動信号が入力された際にスタートし、メモリ４やバッファに１５に記憶されている以前の測定データを消去して初期化し、その後、Ｓ１００に移る。

30

【００６７】

次いで、Ｓ１００において、エッジ画像取得部５を用い、チャートＣＨにおける複数のエッジ模様Ｐ０～Ｐ４の内、測定対象となるエッジ模様を選択し、選択されたエッジ模様に対応付けてこのエッジ模様を含む画像データをメモリ４から取得し、その後、Ｓ２００に移る。この際、複数のエッジ模様Ｐ０～Ｐ４の選択順が、予めＲＯＭ１６に記憶されている。

【００６８】

次いで、Ｓ２００において、エッジ傾斜角検出部６を用い、エッジの傾斜角度を算出し、その後、Ｓ３００に移る。

40

【００６９】

次いで、Ｓ３００において、エッジ模様傾斜部７を用い、エッジの傾斜角が画素配置方向に対して所定の角度になるように、エッジ模様を含む所定の画像範囲Ａを傾斜させ（図３（ａ）、（ｂ）参照）、その後、Ｓ４００に移る。

【００７０】

次いで、Ｓ４００において、画素値補間生成部８を用い、Ｓ３００で傾斜された所定の画像範囲における画素値を、傾斜前の元の画素値から補間生成し（図３（ｄ）参照）、その後、Ｓ５００に移る。

【００７１】

次いで、Ｓ５００において、図８に表した手順に基づいて、ＭＴＦ演算部１０を用い、

50

MTFの演算を行う。

【0072】

まず、図8のS510において、サンプリング数算出部10aを用い、S300で傾斜されたエッジの傾斜角度に基づいて、画像の一方向の走査の基本単位となるサンプリング数Pを算出する(図4(b)参照)。

【0073】

次いで、ステップ応答算出部10bを用い、S520において、主走査方向にサンプリング数Pを1ライン分の走査とするようにスキャン(図4(c)参照)してスキャン位置の画素値を取得し、その後、S530において、S520で得られた各スキャン位置の画素値を一元的に並べる(図4(d)参照)ことにより、エッジのステップ応答を得てS540に移る。

10

【0074】

次いで、S540において、インパルス応答算出部10cを用い、S530で得られたステップ応答を微分することによって像の強度分布を表すインパルス応答に変換し、S550に移る。

【0075】

次いで、S550において、MTF算出部10dを用い、S540で得られたインパルス応答を離散フーリエ変換してMTFを算出し、その後、図7のS600に移る。

【0076】

次いで、S600において、S200で検出されたエッジの傾斜角度に基づいて、空間周波数Fに対応付けて補正係数記憶部13に格納された補正係数m(図5(b)参照)を取得し、その後、S700に移る。

20

【0077】

次いで、S700において、MTF補正部11を用い、S550で算出されたMTFに対してS600で取得した補正係数mに基づいて補正を加え、その後、S800に移る。

【0078】

次いで、S800において、MTF曲線生成部12を用い、横軸に空間周波数、縦軸にコントラストの変調度を表したMTF曲線の画像データを生成し(図6参照)、その後、S900に移る。

【0079】

30

次いで、S900において、次のエッジ画像が有るか否か(つまり、エッジ模様P0~P4の内で次に画像読み込みが設定されたエッジが有るか否か)を判定し、次のエッジ画像が無い(No)と判定された場合にはS1000に移り、一方、次のエッジ画像が有る(Yes)と判定された場合には、次のエッジ画像を選択して、S100からS900を繰り返す。

【0080】

次いで、S1000において、S100~S800において求められたエッジ模様毎のMT演算結果及びMTF曲線生成結果等をバッファ15に記憶し、MTF測定方法の本手順を終了する。これにより、複数のエッジ模様P0~P4に対応する法線及び接線毎に、MTF演算が行われてMTF曲線が生成される。

40

【0081】

なお、本発明の請求項1におけるエッジ傾斜角検出ステップがS200によってその機能が発現され、本発明の請求項1におけるエッジ模様傾斜ステップがS300によってその機能が発現され、本発明の請求項1における補間生成ステップがS400によってその機能が発現され、本発明の請求項3におけるMTF補正ステップがS600及びS700等によってその機能が発現される。

【0082】

以上のように、第1の実施形態のMTF測定装置1及びMTF測定方法は、エッジ傾斜

50

角検出部 6 を用いて、被検レンズ L_e の光学中心から径方向に延出する所定の法線 $N_1 \sim N_4$ 線上に位置して撮像素子 2 に結像されたエッジ模様 $P_1 \sim P_4$ の、撮像素子 2 の画素配置方向に対するエッジの傾斜角を検出し、次いで、エッジ模様傾斜部 7 を用いて、エッジの傾斜角に基づいて、エッジの傾斜角が画素配置方向に対して所定の角度になるように、エッジ模様を含む所定の画像範囲 A を傾斜させ、次いで、画素値補間生成部 8 を用いて、傾斜されたエッジ模様を含む所定の画像範囲 A_s を撮像素子 2 の傾斜前の画素配置 R に投影して、撮像素子 2 の傾斜前の画素配置における画素毎の画素値（図 3（d）中の D の画素値）を、該画素を囲む傾斜後の画素配置における画素値（図 3（d）中の $A_1 \sim A_4$ ）を用いて補間生成し、次いで、補間生成された画素値を撮像素子 2 の画素配置方向（図 3（a）中の x 、 y 方向）に走査して MTF を測定することにより、撮像素子 2 や被検レンズ L_e を回動させたりチャート Ch のエッジ方向を調整したりすること無く、被検レンズ L_e の光学中心 C から任意の傾斜角を有する法線（ $N_1 \sim N_4$ ）及びこの法線に直交する接線（ $T_1 \sim T_4$ ）に沿って、 MTF を容易に且つ精度良く測定できる。

10

【0083】

また、本発明の第 1 の実施形態の MTF 測定装置 1 及び MTF 測定方法は、 MTF 補正部 11 を用いて、 MTF 演算部 10 で測定された MTF を空間周波数 F に対応付けて補正したり、エッジ模様を含む所定の画素範囲を傾斜させる際の傾斜角に対応付けて補正したりすることにより、 MTF の測定精度を向上できる。

20

【0084】

（第 2 の実施形態）

次に、本発明の MTF 測定方法及び MTF 測定装置の第 2 の実施形態を、図面に基づいて説明する。

【0085】

本発明の第 2 の実施形態の MTF 測定装置は、第 1 の実施形態で表したエッジ模様傾斜部 7 と画素値補間生成部 8 の動作が異なるものであって、基本的には第 1 の実施形態の MTF 測定装置 1 と同じ構成であるので、共通となる構成部分については説明を省き、特徴となる部分について以下に説明する。また、第 2 の実施形態においては、エッジ模様傾斜部をエッジ模様傾斜部 7b と称し、画素値補間生成部を画素値補間生成部 8b と称して説明する。

30

【0086】

図 9 は、本発明の第 2 の実施形態における、画素配置方向に対して傾斜した法線及び接線方向に沿って MTF 測定範囲を設定する動作説明図であって、図 9（a）が、撮像素子の画素配置方向に対して傾斜したエッジ模様を表した図、図 9（b）が、撮像素子の画素配置方向に対して所定の画素範囲を傾斜させる説明図、図 9（c）が、 MTF を測定する際の画素走査方向を表した図、図 9（d）が、傾斜させた画素範囲における画素値の補間生成方法を表した図である。また、図 10 は、同第 2 の実施形態における、 MTF 測定方法の手順を表したフローチャートである。

【0087】

まず、図 9（a）に表したように、エッジ画像取得部 5 が、メモリ 4 からチャート Ch のエッジ模様を含む所定の画像データを取得する。以下、第 1 の実施形態と同様に、代表例として、エッジ模様 P_2 を用い、その法線 N_2 及び接線 T_2 方向に沿って MTF を測定する際の説明を行う。

40

【0088】

次いで、図 9（b）に表したように、エッジ模様傾斜部 7b は、エッジ傾斜角検出部 6 で検出されたエッジ E の画素配置方向に対する傾斜角（図 9（a）に基づいて、エッジ E の傾斜角が画素配置方向に対して所定の角度になるように、エッジ模様 P_2 の位置を変えずに、所定の画素範囲 A の画素配置を傾斜させる（ B の位置に傾斜させる）。

【0089】

50

次いで、図 9 (c)、(d) に表したように、画素値補間生成部 8 b は、エッジ模様傾斜部 7 b で傾斜された画素配置 B における画素値を、傾斜前の画素配置 A の画素値から補間生成する。

【 0 0 9 0 】

つまり、図 9 (d) に表したように、エッジ模様傾斜部 7 b で傾斜された所定の画素範囲 B を、撮像素子 2 の画素配置方向に沿った画素配置 A に投影し、画素配置 B の画素座標に対応する画素 D の画素値 D を、この画素 D を囲む画素 A 1、画素 A 2、画素 A 3、画素 A 4 の画素値を用い、 $D = k \times ((1/R1) \times A1 + (1/R2) \times A2 + (1/R3) \times A3 + (1/R4) \times A4)$ の演算式を用いて算出する。

10

【 0 0 9 1 】

この演算式において、A 1、A 2、A 3、A 4、D が、夫々、画素 A 1、画素 A 2、画素 A 3、画素 A 4、画素 D の輝度を表し、R 1、R 2、R 3、R 4 が、夫々、画素 D から画素 A 1 の距離、画素 D から画素 A 2 の距離、画素 D から画素 A 3 の距離、画素 D から画素 A 4 の距離を表し、k が補正係数である。

【 0 0 9 2 】

なお、本発明の請求項 5 における画素配置傾斜手段がエッジ模様傾斜部 7 b によってその機能が発現され、本発明の請求項 5 における傾斜画素補間生成手段が画素値補間生成部 8 b によってその機能が発現される。

20

【 0 0 9 3 】

次に、第 2 の実施形態における M T F 測定方法は、図 1 0 に表したように、第 1 の実施形態に対して S 3 0 0 A と S 4 0 0 A が異なる。

【 0 0 9 4 】

つまり、S 3 0 0 A において、エッジ模様傾斜部 7 b を用い、S 2 0 0 で検出されたエッジ E の画素配置方向に対する傾斜角 (図 9 (a) に基づいて、画素配置方向に対して、撮像素子 2 に結像されたエッジ模様のエッジ E の傾斜角が所定の角度 になるように、エッジ模様 P 2 の位置を変えずに、所定の画素範囲における画素配置 A を、B の位置に傾斜させ、(図 9 (a)、(b) 参照)、その後、S 4 0 0 A に移る。

30

【 0 0 9 5 】

次いで、S 4 0 0 A において、画素値補間生成部 8 b を用い、S 3 0 0 A で傾斜された画素配置における画素毎の画素値を、この画素を囲む傾斜前の画素配置における画素の画素値から補間生成し (図 9 (c)、(d) 参照)、その後、S 5 0 0 に移る。

【 0 0 9 6 】

なお、本発明の請求項 2 における画素配置傾斜ステップが S 3 0 0 A によってその機能が発現され、本発明の請求項 2 における傾斜画素補間生成ステップが S 4 0 0 A によってその機能が発現される。

40

【 0 0 9 7 】

以上のように、第 2 の実施形態の M T F 測定装置 1 及び M T F 測定方法は、エッジ模様傾斜部 7 b を用いて、エッジの傾斜角が画素配置方向に対して所定の角度 になるように、エッジ模様の位置を変えずに、所定の画素範囲における画素配置を傾斜させ、次いで、画素値補間生成部 8 を用いて、傾斜された所定の画素範囲における画素配置 (図 9 (b) の B) を撮像素子の傾斜前の画素配置 (図 9 (b) の A) に投影して、傾斜された画素配置における画素毎の画素値 (図 9 (d) の D) を、該画素を囲む傾斜前の画素配置の画素値 (A 1 ~ A 4) を用いて補間生成し、次いで、補間生成された画素値を法線又は該法線に直交する接線 (図 9 (c) の T 2) に沿って走査して M T F を測定することにより、撮

50

像素子 2 や被検レンズ L_e を回動させたりチャート CH のエッジ方向を調整したりすること無く、画素配列方向に対して傾斜し被検レンズ L_e の光学中心から径方向に向かって任意の傾斜角を有する法線 ($N1 \sim N4$) 及びこの法線に直交する接線 ($T1 \sim T4$) に沿って、 MTF を容易に且つ精度良く測定できる。

【0098】

また、本発明の第 2 の実施形態の MTF 測定装置 1 及び MTF 測定方法は、 MTF 補正部 11 を用いて、 MTF 演算部 10 で測定された MTF を空間周波数 F に対応付けて補正したり、所定の画素範囲の画素配置を傾斜させる際の傾斜角 に対応付けて補正したりすることにより、 MTF の測定精度を向上できる。

【0099】

以上、本発明の一実施例について説明したが、本発明は前記実施例に限定されるものでなく、種々態様を取ることができる。

【図面の簡単な説明】

【0100】

【図 1】本発明の第 1 の実施形態における、 MTF 測定装置の構成を表すブロック図である。

【図 2】同第 1 の実施形態の MTF 測定装置における、チャートの配置及びエッジ傾斜角の検出動作を表す図である。

【図 3】同第 1 の実施形態の MTF 測定装置における、画素配置方向に対して傾斜した法線及び接線方向に沿って MTF 測定範囲を設定する動作説明図であって、図 3 (a) が、画素配置方向に対して傾斜したエッジ模様を表した図、図 3 (b) が、画素配置方向に対してエッジ模様を含む所定の画像範囲を傾斜させる説明図、図 3 (c) が、 MTF を測定する際の画素走査方向を表した図、図 3 (d) が、傾斜させた画像範囲における画素値の補間生成方法を表した図である。

【図 4】同第 1 の実施形態の MTF 測定装置における、 MTF の測定動作を表した図である。

【図 5】同第 1 の実施形態の MTF 測定装置における、 MTF の補正方法を表した図である。

【図 6】同第 1 の実施形態の MTF 測定装置で測定された MTF 曲線図である。

【図 7】同第 1 の実施形態における、 MTF 測定方法の手順を表したフローチャートである。

【図 8】図 7 のフローチャートにおける、 MTF 演算の手順を表したフローチャートである。

【図 9】本発明の第 2 の実施形態における、画素配置方向に対して傾斜した法線及び接線方向に沿って MTF 測定範囲を設定する動作説明図であって、図 9 (a)、が画素配置方向に対して傾斜したエッジ模様を表した図、図 9 (b) が、画素配置方向に対して所定の画素範囲を傾斜させる説明図、図 9 (c) が、 MTF を測定する際の画素走査方向を表した図、図 9 (d) が、傾斜させた画素範囲における画素値の補間生成方法を表した図である。

【図 10】同第 2 の実施形態における、 MTF 測定方法の手順を表したフローチャートである。

【符号の説明】

【0101】

1 ... MTF 測定装置、2 ... 撮像素子 (例えば、Charge Coupled Devices)、3 ... A/D 変換器、4 ... メモリ、5 ... エッジ画像取得部、6 ... エッジ傾斜角検出部、7 ... エッジ模様傾斜部、8 ... 画素値補間生成部、9 ... MTF 測定手段、10 ... MTF 演算部、10a ... サンプリング数算出部、10b ... ステップ応答算出部、10c ... インパルス応答算出部、10d ... MTF 算出部、11 ... MTF 補正部、12 ... MTF 曲線生成部、13 ... 補正係数記憶部、14 ... CPU (Central Processing Unit)、15 ... バッファ、16 ... ROM (Read Only Memory)、1

10

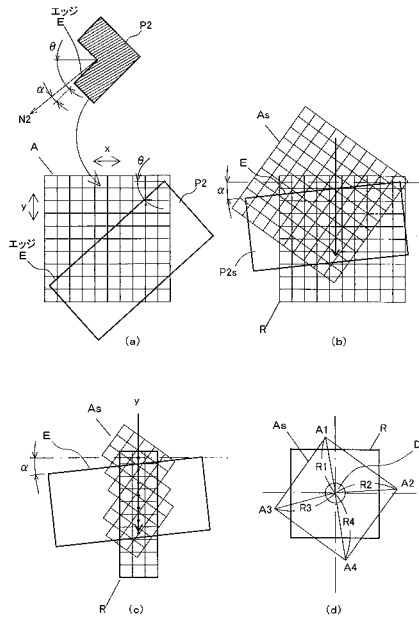
20

30

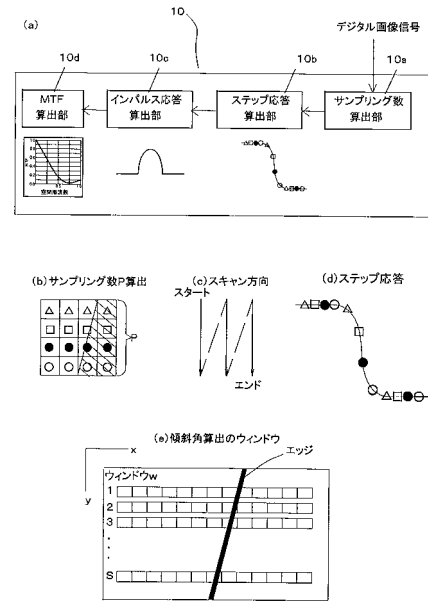
40

50

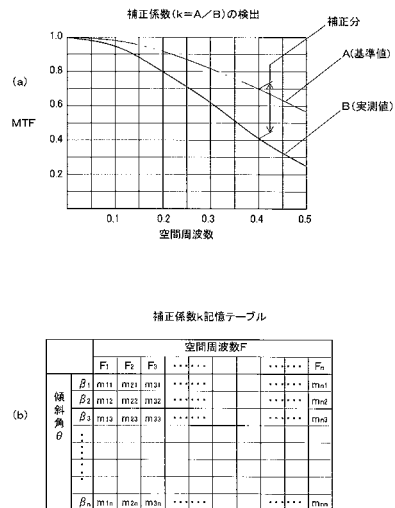
【図 3】



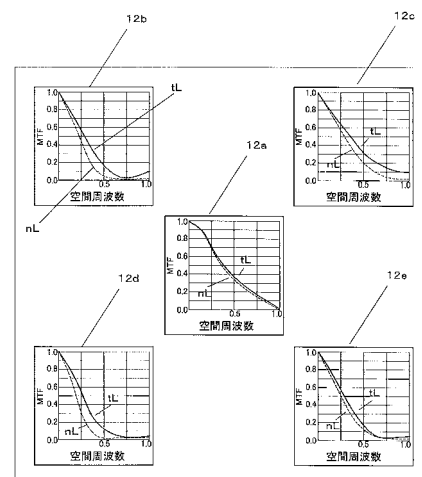
【図 4】



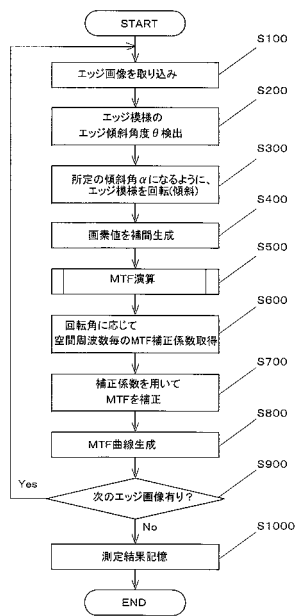
【図 5】



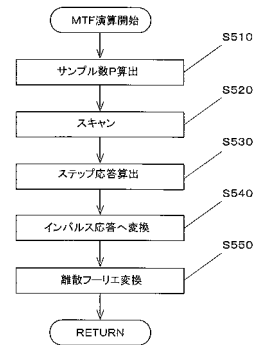
【図 6】



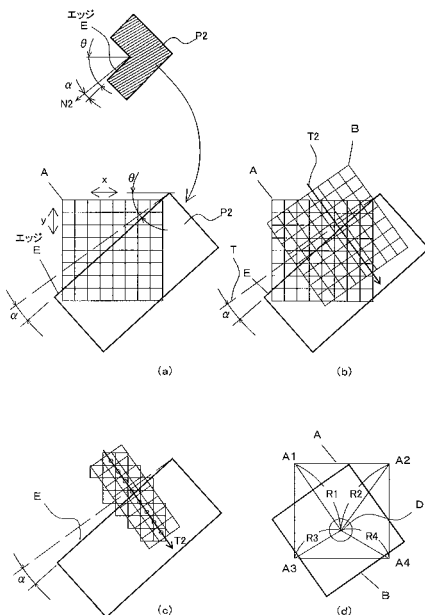
【図 7】



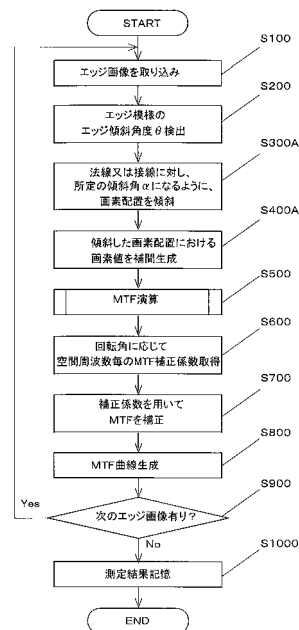
【図 8】



【図 9】



【図 10】



フロントページの続き

(56)参考文献 国際公開第2008/018573(WO, A1)

特開2008-500529(JP, A)

特開2008-039586(JP, A)

特開2002-350285(JP, A)

特開平04-157336(JP, A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

G01M11/00-11/08

G09G5/00-5/42

H04N13/00-17/06

JSTPlus(JDreamII)