

(19)日本国特許庁(JP)

(12)特許公報(B2)

(11)特許番号
特許第7392155号
(P7392155)

(45)発行日 令和5年12月5日(2023.12.5)

(24)登録日 令和5年11月27日(2023.11.27)

(51)国際特許分類 F I
H 0 1 J 37/153(2006.01) H 0 1 J 37/153 B
H 0 1 J 37/147(2006.01) H 0 1 J 37/147 B

請求項の数 10 (全24頁)

(21)出願番号	特願2022-535998(P2022-535998)	(73)特許権者	501387839 株式会社日立ハイテク 東京都港区虎ノ門一丁目17番1号
(86)(22)出願日	令和2年7月13日(2020.7.13)	(74)代理人	110002572 弁理士法人平木国際特許事務所
(86)国際出願番号	PCT/JP2020/027252	(72)発明者	田沼 圭亮 東京都港区虎ノ門一丁目17番1号 株 式会社日立ハイテク内
(87)国際公開番号	WO2022/013918	(72)発明者	神尾 誠人 東京都港区虎ノ門一丁目17番1号 株 式会社日立ハイテク内
(87)国際公開日	令和4年1月20日(2022.1.20)	(72)発明者	板橋 洋憲 東京都港区虎ノ門一丁目17番1号 株 式会社日立ハイテク内
審査請求日	令和4年12月20日(2022.12.20)	(72)発明者	神波 弘樹

最終頁に続く

(54)【発明の名称】 荷電粒子線装置、およびスキャン波形生成方法

(57)【特許請求の範囲】

【請求項1】

試料に荷電粒子線を照射して画像を取得する荷電粒子線装置であって、
前記荷電粒子線を前記試料上で走査させる偏向コイルと、
デジタルスキャン波形をアナログスキャン波形に変換し、当該アナログスキャン波形を
前記偏向コイルに出力して駆動させるD/Aコンバータと、
前記デジタルスキャン波形を生成して、前記D/Aコンバータに出力するスキャン波形
生成部と、を備え、
前記スキャン波形生成部は、前記デジタルスキャン波形を補正するためのパラメータを
格納する基本LUTを有し、前記偏向コイルの歪み特性を補正する補正回路を含み、
前記スキャン波形生成部は、外部から入力されるモード信号であって、前記歪み特性の補
正を実行するか、あるいは前記歪み特性の補正を実行せずにスキャン波形の立ち上がり部
と立ち下がり部を用いずに撮像するかを示すモード信号に応じて、前記デジタルスキャン
波形を出力する、荷電粒子線装置。

10

【請求項2】

請求項1において、
前記モード信号は、直線近似によって前記歪み特性の補正の実行を指示する第1モード
信号と、曲線近似によって前記歪み特性の補正の実行を指示する第2モード信号と、前記
歪み特性の補正を実行せずにスキャン波形の立ち上がり部と立ち下がり部を用いずに撮像
することを指示する第3モード信号とを含み、

20

前記スキャン波形生成部は、前記第 1 モード信号あるいは前記第 2 モード信号を受信した場合には、前記補正回路を前記第 1 モード信号あるいは前記第 2 モード信号に対応する歪み補正を実行するように前記補正回路を動作させて補正された前記デジタルスキャン波形を出力し、前記第 3 モード信号を受信した場合には、前記補正回路を動作させずに前記デジタルスキャン波形を出力する、荷電粒子線装置。

【請求項 3】

請求項 2 において、

前記補正回路は、スキャン速度、倍率、および回転の少なくとも一つを含む条件に応じて、補正パラメータを変更する荷電粒子線装置。

【請求項 4】

請求項 3 において、

前記補正パラメータは、(i)前記基本 L U T に格納された、所定条件での前記歪み特性の逆特性の第 1 パラメータセットと、(ii)前記スキャン速度、倍率、および回転の各条件に応じた第 2 パラメータセットと、の組み合わせで構成され、

前記第 2 パラメータセットは、前記スキャン速度、倍率、および回転の少なくとも一つを含む条件に対応する歪みを補正する、前記直線近似による歪み補正のためのパラメータ、あるいは前記曲線近似による歪み補正のためのパラメータであり、

前記補正回路は、前記第 1 パラメータセットによって第 1 補正を実行した後、前記第 2 パラメータセットによって第 2 補正を実行することにより、前記歪み特性を補正する、荷電粒子線装置。

【請求項 5】

請求項 3 において、

前記スキャン波形生成部は、前記第 1 モード信号を受信した場合、前記基本 L U T に格納されたパラメータを用いて補正の基準となるスキャン波形との誤差の逆特性を取得して前記偏向コイルの応答性の遅れによる歪みを補正し、前記条件に対応する歪み量の逆特性の複数の変化点に対して直線近似波形を生成して得られるパラメータを用いて前記条件に対応する歪み量を補正して、前記補正されたデジタルスキャン波形を出力する、荷電粒子線装置。

【請求項 6】

請求項 3 において、

前記スキャン波形生成部は、前記第 2 モード信号を受信した場合、前記基本 L U T に格納されたパラメータを用いて補正の基準となるスキャン波形との誤差の逆特性を取得して前記偏向コイルの応答性の遅れによる歪みを補正し、前記条件に対応する歪み量の逆特性の複数の変化点に対して曲線近似波形を生成して得られるパラメータを用いて前記条件に対応する歪み量を補正して、前記補正されたデジタルスキャン波形を出力する、荷電粒子線装置。

【請求項 7】

請求項 4 において、

前記第 1 パラメータセットは、荷電粒子線装置の設計値によるシミュレーション評価によって得られるパラメータセット、前記スキャン波形生成部を F P G A で構成した段階で計測可能なスキャン波形の歪みに基づいて算出されるパラメータセット、出荷時の荷電粒子線装置を用いて計測されるスキャン波形の歪みに基づいて算出されるパラメータセット、あるいは出荷後の荷電粒子線装置を用いてユーザが計測するスキャン波形の歪みに基づいて算出されるパラメータセットである、荷電粒子線装置。

【請求項 8】

請求項 7 において、

前記第 2 パラメータセットは、前記スキャン波形生成部を F P G A で構成した段階で計測可能なスキャン波形の歪みに基づいて算出されるパラメータセット、出荷時の荷電粒子線装置を用いて計測されるスキャン波形の歪みに基づいて算出されるパラメータセット、あるいは出荷後の荷電粒子線装置を用いてユーザが計測するスキャン波形の歪みに基づい

10

20

30

40

50

て算出されるパラメータセットである、荷電粒子線装置。

【請求項 9】

荷電粒子線装置において、試料に照射する荷電粒子線のスキャン波形を生成するスキャン波形生成方法であって、

前記スキャン波形を生成して、前記荷電粒子線を前記試料上で走査させる偏向コイルに前記スキャン波形を供給することと、

前記スキャン波形を補正するためのパラメータを格納する基本 L U T を用いて、前記偏向コイルの歪み特性を補正することと、
を含み、

前記スキャン波形を供給することは、外部から入力されるモード信号であって、前記歪み特性の補正を実行するか、あるいは前記歪み特性の補正を実行せずにスキャン波形の立ち上がり部と立ち下がり部を用いずに撮像するかを示すモード信号にตอบสนองして前記歪み特性の補正を実行するか決定し、当該モード信号に対応するスキャン波形を出力することを含む、スキャン波形生成方法。

10

【請求項 10】

請求項 9 において、

前記モード信号は、直線近似によって前記歪み特性の補正の実行を指示する第 1 モード信号と、曲線近似によって前記歪み特性の補正の実行を指示する第 2 モード信号と、前記歪み特性の補正を実行せずにスキャン波形の立ち上がり部と立ち下がり部を用いずに撮像することを指示する第 3 モード信号とを含み、

20

前記スキャン波形を供給することは、前記第 1 モード信号あるいは前記第 2 モード信号を受信した場合には、前記第 1 モード信号あるいは前記第 2 モード信号に対応する歪み補正を実行して補正された前記スキャン波形を出力し、前記第 3 モード信号を受信した場合には、前記歪み特性の補正をせずに前記スキャン波形を出力する、スキャン波形生成方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本開示は、荷電粒子線装置、およびスキャン波形生成方法に関する。

【背景技術】

【0002】

近年、半導体プロセスの微細化やナノテクノロジーの進歩により、多様な試料の微細領域形状の観察が必要となっている。これら微細領域の観察には電子ビーム技術を用いた走査型電子顕微鏡 (SEM: Scanning Electron Microscope) などを用いて観察領域の画像情報を取得することで行われる。これら走査型電子顕微鏡 (SEM) を用いた装置においては、複数の走査ラインに沿って所定の加速電圧で順次電子ビームを照射して、試料上の観察対象領域を走査 (スキャン) し、出射される二次電子を検出して観察対象領域の試料観察を行うが、近年の半導体プロセスの微細化やナノテクノロジーの進歩により高い分解能が必須である。また、半導体デバイスやエレクトロニクス、先端ナノテクノロジー材料、生物、製薬などの幅広い分野で試料観察に使用するため観察画像の高画質化や使い勝手向上、SEM装置の低コスト化が求められている。これら SEM装置に適用する画像処理システムでは、高い分解能を実現するリアルタイム処理性能に加え、多様な分野に対応する様々な検出器からの画像情報を入力する多チャンネル化と、低コスト化が求められている。特に、走査型電子顕微鏡 (SEM) を用いた試料観察においては、電子ビームを走査 (スキャン) するスキャン座標に歪みがあると、観察画像が劣化するため、スキャン歪み補正が重要となる。

30

40

【0003】

例えば、特許文献 1 は、スキャン歪み補正に関する技術について開示している。特許文献 1 には、「周期構造を持つ標準試料を基準にした絶対歪みとして第 1 の倍率における幾何歪みを測定する。幾何歪み測定済の第 1 の倍率と、幾何歪み未測定の第 2 の倍率で微細構造試料を撮影する。第 1 の倍率の画像を第 2 の倍率まで等方的に伸縮した伸縮画像を生

50

成する。第2の倍率における幾何歪みを、伸縮画像を基準とした相対歪みとして測定する。第1の倍率における絶対歪みと第2の倍率における相対歪みから、第2の倍率における絶対歪みを求める。以後、第2の倍率を第1の倍率に置き換えて相対歪み測定を繰り返すことにより、任意倍率における幾何歪みを測定し、補正する。」と記載されている。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0004】

【文献】特開2008-014850号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0005】

上述のように、特許文献1は、倍率の異なる二枚の画像から倍率像歪みを測定し、倍率歪みだけを補正する。

【0006】

しかしながら、走査型電子顕微鏡の像歪みの要因は多種多様にある。従って、特許文献1に開示の技術を適用しただけでは、倍率歪み以外の歪みに対して補正を行うことができない。観察条件によっては像歪みが顕在化し、画像が歪んでしまう。また、周期構造をもつ標準試料を用意し、繰り返し測定を行って歪みを補正することは、効率的で最良な歪み対策とは言えない。

【0007】

また、一般的に、補正を行う方法として、LUT(Look Up Table)に予め補正值を格納しておき、スキヤンの座標値に応じた補正值を出力する方法がある。この場合、倍率歪み、電子ビームの偏向コイルに流れる電流の歪み、スキヤン速度、電子プローブの走査方向(ラスタローテーション)による歪みに対し、すべての条件毎に補正を行うためには、条件毎の補正值をLUTに格納しておくか、条件毎にLUT内容を書き換える必要がある。予め格納しておく場合には、膨大なメモリ容量を必要とし、条件毎に書き換えを行うには、膨大なメモリ書き込み時間が必要となる。さらに、従来は、スキヤンの時間を拡大して、スキヤン歪みが比較的軽微な波形中央部を撮像に使用している。このため、試料観察における画面表示の時間が増加し、観察スループットが低下する。加えて、画像つなぎ機能のスループットおよび画像つなぎ機能の精度も低下する課題がある。

【0008】

本開示は、このような状況に鑑み、観察スループットを低下させずに様々な種類の歪みを適切に補正する技術を提案する。

【課題を解決するための手段】

【0009】

上記課題を解決するために、本開示は、試料に荷電粒子線を照射して画像を取得する荷電粒子線装置であって、荷電粒子線を前記試料上で走査させる偏向コイルと、デジタルスキヤン波形をアナログスキヤン波形に変換し、当該アナログスキヤン波形を偏向コイルに出力して駆動させるD/Aコンバータと、デジタルスキヤン波形を生成して、D/Aコンバータに出力するスキヤン波形生成部と、を備え、スキヤン波形生成部は、デジタルスキヤン波形を補正するためのパラメータを格納する基本LUTを有し、偏向コイルの歪み特性を補正する補正回路を含む、荷電粒子線装置について提案する。

【0010】

本開示に関連する更なる特徴は、本明細書の記述、添付図面から明らかになるものである。また、本開示の態様は、要素及び多様な要素の組み合わせ及び以降の詳細な記述と添付される請求の範囲の様態により達成され実現される。

【0011】

本明細書の記述は典型的な例示に過ぎず、本開示の請求の範囲又は適用例をいかなる意味においても限定するものではない。

【発明の効果】

10

20

30

40

50

【0012】

本開示の技術によれば、荷電粒子線装置において、観察スループットを低下させずに様々な種類の歪みを適切に補正することができる。

【図面の簡単な説明】

【0013】

【図1】本実施形態による走査型電子顕微鏡の構成例を示す図である。

【図2】第1モードによる（後述の直線近似補正部を含む）スキャン波形生成装置112の内構成例を示す図である。

【図3】第1モードによる基本LUT補正部204および直線近似補正部205の概略内部構成例を示す図である。

【図4】本実施形態による荷電粒子線装置のGUI（Graphical User Interface）の構成例を示す図である。

【図5】スキャン波形の立ち上がり部分と立ち下がり部分の様子を示す概略図である。

【図6】本実施形態の直線近似による歪み補正処理を説明するためのフローチャートである。

【図7】直線近似によるX方向スキャン波形信号の補正処理の具体例を示す図である。

【図8】傾き値の算出方法と算出式の例を示す図である。

【図9】全てLUTで補正する手法（比較例）と基本LUTおよび直線近似にて補正する手法（本実施形態）の回路規模の比較を示す図である。

【図10】第2モードによる（曲線近似補正部を含む）スキャン波形生成装置112の内構成例を示す図である。

【図11】本実施形態（第2モード）の曲線近似による歪み補正処理を説明するためのフローチャートである。

【図12】曲線近似補正（第2モード）の演算回路の構成例を示す図である。

【図13】全てLUTで補正する手法（比較例）と基本LUT補正+曲線近似補正する手法（第2モード）の回路規模の比較結果を示す図である。

【図14】本実施形態による波形取得部110の内部構成例を示す図である。

【図15】本実施形態の荷電粒子線装置による画像つなぎ機能の概略を示す図である。

【図16】シミュレーション評価による補正值算出処理を説明するためのフローチャートである。

【図17】波形取得部110による補正值算出処理を説明するためのフローチャートである。

【図18】装置出荷時の補正值算出処理を説明するためのフローチャートである。

【図19】ユーザ使用時の補正值算出処理を説明するためのフローチャートである。

【発明を実施するための形態】

【0014】

本実施形態は、半導体デバイスやエレクトロニクス、先端ナノテクノロジー材料、生物、製薬等の幅広い分野で試料を観察する荷電粒子線装置に関し、特に、電子ビームを走査して画像を取得するスキャン制御に関する。このような荷電粒子線装置は、例えば、半導体検査装置及び測長装置に適用することができる。

【0015】

より具体的には、本実施形態は、観察スループットを低下させずに様々な種類の歪みを適切に補正するため、基本LUTに格納する基本パラメータを用いて補正の基準となるスキャン波形（後述の理想的なスキャン波形）との誤差の逆特性を取得して偏向コイルの応答性の遅れによる歪みを補正し、各条件（スキャン速度、倍率、回転など）に対応する歪み量の逆特性の複数の変化点に対して直線近似波形あるいは曲線近似波形によって基本パラメータを変更し、当該変更されたパラメータを用いて各条件に対応する歪み量を補正して、偏向コイルを駆動するスキャン波形を出力する。

【0016】

以下、図面を参照して、本実施形態について説明する。なお、本実施形態では、荷電粒

10

20

30

40

50

子線装置として走査型電子顕微鏡を例に挙げて説明するが、本開示の技術は他の荷電粒子線装置でも適用することができる。

【0017】

<走査型電子顕微鏡の構成例>

図1は、実施形態による走査型電子顕微鏡の構成例を示す図である。図1に示すように、走査型電子顕微鏡100は、電子源101と、第1コンデンサレンズ102と、第2コンデンサレンズ103と、偏向器104と、筐体105と、対物レンズ106と、試料室107と、試料108と、アンプ109と、波形取得部110と、D/Aコンバータ111と、スキャン波形生成装置112と、ディスプレイ付きコンピュータ113（以下、単に「コンピュータ」と称する場合もある）と、を備える。

10

【0018】

電子源101は、一般に0.5kV～30kVに加速され、電子ビーム（一次電子ビーム）を出射する。第1コンデンサレンズ102および第2コンデンサレンズ103などで構成される複数段のレンズは、観察に適した条件に制御されているものとし、一次電子ビームを収束する作用を有している。また、偏向器104は、走査速度を可変する作用を有している。そして、一次電子ビームの照射に伴って試料108からは二次電子や反射電子が放出される。

【0019】

スキャン波形生成装置112は、D/Aコンバータ111を介して、アナログ波形を偏向器104へ出力する。偏向器104は、入力されたスキャン波形に制御されて、試料108上の一次電子ビームの照射位置を所望の観察視野範囲に従って走査させる。また、スキャン波形生成装置112は、偏向器104への出力と同一のアナログ波形を波形取得部110にも供給する。

20

【0020】

波形取得部110は、偏向器104に出力したものと同一の波形信号を入力とし、A/Dコンバータ114によりアナログ信号からデジタル信号に変換させる。そして、波形取得部110は、取得したデジタルの波形信号（波形データ）を取得波形格納メモリに格納し、格納した波形データをスキャン波形生成装置112に出力する。この波形データと歪み検出・補正のための基準波形（理想的な波形：最も遅いスキャン速度によるスキャン波形）とを比較することにより、実際に試料108に一次電子ビームを照射する前であっても、スキャン歪みの有無を検知することが可能となる。

30

【0021】

スキャン波形生成装置112は、後述のように（図2参照）、スキャン生成部201および直線近似補正部205を備え、倍率歪み、電子ビームの偏向コイルに流れる電流の歪み、スキャン速度、電子プローブの走査方向（ラスタローテーション）による歪みに対して、すべての条件毎に補正を行うことができる。

【0022】

一次電子ビームの走査と同期させて、ディスプレイ付きコンピュータ113で画像表示される。また、ディスプレイ付きコンピュータ113は、形成画像を表示するための表示手段や、当該表示手段に表示されるGUIに対して、装置の操作に必要な情報を入力する情報入力手段等を備えている。なお、電子光学系の各構成要素、例えば一次電子ビームの加速電圧、試料108へ照射されるプローブ電流などは、自動もしくはユーザがディスプレイ付きコンピュータ113上で所望の値を入力し、調整される。

40

【0023】

<第1モードスキャン波形生成装置112の内構成例>

図2は、第1モード（後述の直線近似）によるスキャン波形生成装置112の内構成例を示す図である。スキャン波形生成装置112は、コンピュータ113からのコマンド（スキャンパラメータを指示するためのスキャン設定コマンドや歪補正值を取得するための補正コマンド）および波形取得部110からの出力を入力とし、スキャン生成部201と、X方向スキャン信号202を補正する基本LUT補正部204-1と、Y方向スキャン

50

信号 203 を補正する基本 LUT 補正部 204 - 2 と、直線近似補正部 205 と、時間補正部 206 と、を備える。直線近似補正部 205 は、X 方向のスキャン速度歪みを補正するスキャン速度補正部 207 - 1 と、Y 方向のスキャン速度歪みを補正するスキャン速度補正部 207 - 2 と、X 方向の倍率歪みを補正する倍率補正部 208 - 1 と、Y 方向の倍率歪みを補正する倍率補正部 208 - 2 と、X 方向の回転（ラスタローテーション）歪みを補正する回転補正部 209 - 1 と、Y 方向の回転（ラスタローテーション）歪みを補正する回転補正部 209 - 2 と、を有する。

【0024】

スキャン設定コマンドに対応するスキャン速度（速いものから遅いものまで何種類がある）に対して歪み方が増減するため、スキャン速度補正部 207 - 1 および 207 - 2 は、各スキャン速度の条件に応じて補正パラメータを有し、スキャン速度の歪みを補正する。また、スキャン設定コマンドに対応する倍率（小さいものから大きいものまで何種類がある）に対して歪み方が増減するため、倍率補正部 208 - 1 および 208 - 2 は、各スキャン倍率の条件に応じて補正パラメータを有し、スキャン倍率の歪みを補正する。さらに、スキャン設定コマンドに対応する回転（スキャン方向の回転角が小さいものから大きいものまで何種類がある）に対して歪み方が増減するため、回転補正部 209 - 1 および 209 - 2 は、各スキャン方向の回転角の条件に応じて補正パラメータを有し、スキャン回転による歪みを補正する。

【0025】

時間補正部 206 - 1 および 206 - 2 は、スキャン歪み補正処理することによって生じる遅延時間を補正（調整）する。これにより、補正なしで試料 108 をスキャンする場合と補正ありで試料 108 をスキャンする場合との時間差が生じることを防止することが可能となる。

【0026】

< 第 1 モードによる基本 LUT 補正部 204 および直線近似補正部 205 の内部構成例 >
図 3 は、第 1 モードによる基本 LUT 補正部 204 および直線近似補正部 205 の概略内部構成例を示す図である。

【0027】

基本 LUT 補正部 204 は、あらかじめ 16 ビットの入力 X 座標値に対応する、歪みの逆特性である補正值データを格納するテーブルを有し、入力する X 座標値に対応した変換データを出力して歪みを補正する。例えば、X 座標値のデータ幅が 16 bit の場合、X 座標数が 65536 個あるため、LUT のメモリ容量は、約 1 Mbit となる。本実施形態では、スキャン速度と、観察倍率、回転に対して X スキャンおよび Y スキャンのそれぞれについて歪み補正のための LUT を用意せずに基本 LUT のみを用意している。基本 LUT のメモリ容量は、例えば、座標を 16 bit のデジタルデータで表すと、約 1 Mbit であり、これを X 座標と Y 座標の 2 式とすると約 2 Mbit になる。この程度の容量であれば、例えば FPG A（Field-Programmable Gate Array）に内蔵可能であり、外付けのメモリが不要になる。このため、低コスト化が実現できる。なお、従来例では、スキャン速度と、観察倍率、回転に対して X スキャンおよび Y スキャンのそれぞれについて歪み補正のための LUT を用意するため、メモリ容量は合計で約 8.4 Mbit となる。

【0028】

直線近似補正部 205 は、従来例のような LUT の補正值データで描画した滑らかな曲線と異なり、全ての X 座標値に対してそれぞれ補正を行わず、曲線を直線で近似してそれぞれ（スキャン速度、観察倍率、回転）の歪み補正を行う。直線近似補正部は、例えば、乗算器 301 と、加算器 302 と、セレクタ 303 と、比較器 304 と、レジスタとによって構成することができる。当該レジスタは、歪み補正で使用するパラメータの傾きと、オフセット、変化点設定値を設定するために必要となるものである。変化点一つに対してレジスタに設定するパラメータを設けているため、変化点の数によってレジスタに設定するパラメータ数が増減する。したがって、本実施形態では全て LUT で補正する手法（従来例）と比較すると、メモリ容量を削減できる。つまり、本実施形態では、LUT は、基

10

20

30

40

50

本LUT補正部204にのみ設け、それ以外(直線近似補正部205、あるいは後述の曲線近似補正部1001)ではLUTを設けていない。このため、メモリ容量を削減できるのである。

【0029】

<GUIの構成例>

図4は、本実施形態によるGUI(Graphical User Interface)の構成例を示す図である。ディスプレイ付きコンピュータ113のディスプレイ上に表示されるGUI401は、例えば、観察画面402と、歪み補正モード切替部403と、補正值取得部404と、補正值設定部405と、観察条件設定部406と、を備える。観察画面402は、ユーザが観察試料の目視確認するための表示領域である。観察条件設定部406は、ユーザがスキャン速度値と、観察倍率値と、回転値(角度値)とを設定(任意の値に設定)するための領域である。歪み補正モード切替部403は、ユーザが所望の歪み補正モードに設定するための領域である。

10

【0030】

補正值取得部404は、補正值を取得する場合に用いられる領域である。補正值設定部405は、補正值を、基本LUT補正部204-1および204-2もしくは直線近似補正部205もしくは曲線近似補正部1001(後述)に設定する場合に用いられる領域である。本実施形態では、ユーザは、当該GUI401上で、基本LUT補正と直線近似補正の組み合わせを第1モードと、基本LUT補正と曲線近似補正(後述)の組み合わせを第2モードと、スキャン波形の立ち上がり部分と立ち下り部分を撮像に用いない第3モードと、を任意に選択して切り替えることができる。

20

【0031】

<スキャン立ち上がり部分と立ち下り部分について>

図5は、スキャン立ち上がり部分と立ち下り部分の様子を示す概略図である。第1モードおよび第2モードが選択された場合、スキャン波形は、理想的な直線性の高い波形に補正されるため、比較的歪みやすい立ち上がり部分および立ち下り部分を撮像に用いることが可能となる。そのため第3モードよりも観察スループットが向上する。

【0032】

例えば、スキャン立ち上がり部分と立ち下り部分を撮像に用いない第3モードでは、高速スキャンで画面サイズ1280×960の場合、Xスキャン当たり200μs要する。一方、第1モードおよび第2モードでは、125μsとなり、一画像当たり約70msも削減される。第3モードでは、補正による演算を行わない代わりに、歪み依存の小さい比較的直線性の高いスキャン波形の中心部のみを撮像に用いる。このため、スキャン波形の立ち上がり部分および立ち下り部分を撮像に用いない。したがって、スキャン振り始めに生じる、絶縁物の試料起因であるチャージアップを選択的に抑制できる。チャージアップを抑制することで、観察画像の輝度ムラを改善することができるがスループットは低下する。本実施形態では、上述のように、ユーザがGUI401上で観察スループット向上したい場合は、第1モードもしくは第2モードを、観察画面402を目視で確認しながら輝度ムラを改善させたい場合は第3モードを、選択的に切り替えて設定することができる。

30

【0033】

<直線近似による歪み補正処理(第1モード)の内容>

図6は、本実施形態の直線近似による歪み補正処理を説明するためのフローチャートである。なお、歪み補正は、一次電子ビームのX方向とY方向に対して独立して行われる。また、本実施形態では、スキャン速度補正 倍率補正 回転補正の順で処理しているが、これらの処理の順番は任意であり、どの補正処理を先に実行してもよい。

40

【0034】

(i)ステップ601

処理開始後、波形取得部110は、スキャン波形を取得し、スキャン生成部201に入力する。

【0035】

50

(ii) ステップ 6 0 2

スキャン生成部 2 0 1 は、ステップ 6 0 1 で取得したスキャン波形と、歪み量算出のための基準波形（理想的な波形：例えば、走査型電子顕微鏡（荷電粒子線装置）1 0 0 において最も速度が遅いスキャンによって取得した波形であって、最も歪みが少ないスキャン波形）と比較し、それらの差異を歪み量として計測する。

【 0 0 3 6 】

(iii) ステップ 6 0 3

スキャン生成部 2 0 1 は、ステップ 6 0 2 で計測した歪み量の逆特性を算出する。

【 0 0 3 7 】

(iv) ステップ 6 0 4

スキャン生成部 2 0 1 は、基本 L U T 補正部 2 0 4 - 1 および 2 0 4 - 2 の L U T に対して、ステップ 6 0 3 で算出した逆特性である補正値を設定する。

【 0 0 3 8 】

(v) ステップ 6 0 5

スキャン生成部 2 0 1 は、スキャン速度を任意に数パターン設定し、設定毎の歪み量から逆特性の補正値（パラメータ）を算出し、スキャン速度補正部 2 0 7 - 1 および 2 0 7 - 2 に対して、直線近似補正のための補正値を設定する。

【 0 0 3 9 】

(vi) ステップ 6 0 6

スキャン生成部 2 0 1 は、スキャン速度と同様に、倍率を任意に数パターン設定し、それによる歪み量から逆特性の補正値（パラメータ）を算出し、倍率補正部 2 0 8 - 1 および 2 0 8 - 2 に対して、直線近似補正のための補正値を設定する。

【 0 0 4 0 】

(vii) ステップ 6 0 7

スキャン生成部 2 0 1 は、回転（回転角度）を任意の数パターン設定し、各パターンの歪み量に対する補正値（パラメータ）を算出し、回転補正部 2 0 9 - 1 および 2 0 9 - 2 に対して、直線近似補正のための補正値に設定する。

【 0 0 4 1 】

(viii) ステップ 6 0 8

その後、スキャン生成部 2 0 1 から出力されたスキャン波形は、基本 L U T 補正部 2 0 4 - 1 および 2 0 4 - 2、スキャン速度補正部 2 0 7 - 1 および 2 0 7 - 2、倍率補正部 2 0 8 - 1 および 2 0 8 - 2、回転補正部 2 0 9 - 1 および 2 0 9 - 2、時間補正部 2 0 6 - 1 および 2 0 6 - 2 においてそれぞれ要素について補正（歪み補正および遅延時間調整）され、D / A コンバータ 1 1 1 へ出力される。そして、D / A コンバータ 1 1 1 は、デジタル波形をアナログ波形に変換し、偏向器 1 0 4 に出力する。

【 0 0 4 2 】

(ix) ステップ 6 0 9

偏向器は、直線性の高いスキャン波形で一次電子ビームを走査することで歪みのない画像を表示する。

【 0 0 4 3 】

< 直線近似によるスキャン波形の補正（第 1 モード）例 >

上記フローチャートで示した直線近似による歪み補正処理の具体例について説明する。図 7 は、直線近似による X 方向スキャン波形信号の補正処理の具体例を示す図である。

【 0 0 4 4 】

スキャン生成部 2 0 1 は、基準となる波形（直線の理想波形）と歪んだ測定波形の差異である歪み量を取得し、基本 L U T 補正部 2 0 4 - 1 に歪み量の逆特性を設定する。そして、基本 L U T 補正部 2 0 4 - 1 は、スキャン波形信号を逆方向に歪ませる。これにより、偏向コイル 1 4 0 1 の応答性の遅れ依存の歪み量は基本 L U T による逆方向の歪み量によってキャンセルされ、直線性の高いスキャン波形に補正される。

【 0 0 4 5 】

10

20

30

40

50

図7の例では、スキャン速度補正、倍率補正、および回転補正のそれぞれについて、直線近似の変化点数は4点である。このため、それぞれについて、変化点aと変化点bと変化点cと変化点dと、各変化点および終点を結ぶ傾き1と、傾き2と、傾き3と、傾き4と、傾き5と、各傾きに対応するオフセット1と、オフセット2と、オフセット3と、オフセット4と、オフセット5を補正值のパラメータとして波形取得部110内の取得波形格納メモリ115に格納される。

【0046】

<傾き値算出(第1モード)について>

図8は、傾き値の算出方法と算出式の例を示す図である。傾き2の算出方法は、変化点bのX座標値とオフセット2を減算した値を変化点bの時間値で除算した値となる。スキャン速度のXスキャンの歪みに対する直線近似補正を行う場合、変化点4点でレジスタ設定するパラメータは、合計で14種(傾き5種;変化点の横軸の値4種;オフセット値5種)となる。レジスタ設定は、コンピュータから各補正部にアクセスするため、レジスタ設定するパラメータが多くなると、アクセス回数が増え、補正に要する時間も多くなる。

10

【0047】

格納された補正值パラメータである変化点aと変化点bと変化点cと変化点dと、各変化点と終点に対応する傾き1と傾き2と傾き3と傾き4と傾き5から描画される直線近似波形を用いて各観察条件に起因する歪みをリアルタイムに補正する。

【0048】

速いスキャンの時、スキャン走査が遅れてスキャン波形が歪む。各スキャン速度の歪み量を予め計測し、その逆特性である補正值が波形取得部110内の取得波形格納メモリ115に格納される。そして、格納された補正值パラメータである変化点aとb、各点と終点に対応する傾き1と傾き2と傾き3から描画される直線近似波形により、スキャン速度の影響による歪み量をキャンセルすることが可能となる。歪み量をキャンセルすることにより、理想的な直線性の高い波形を生成することができる。

20

【0049】

観察倍率の条件が低倍つまりスキャン走査を広範囲に行うときは、X方向の終端までビーム走査し、ビーム走査始まりの反対側の端までビームを戻す範囲が遠くなるため、ビームを走査するスキャンが遅れて波形が歪んでしまう。この場合、倍率による波形の歪みが計測され、その逆特性である補正值が波形取得部110内の取得波形格納メモリ115に格納される。そして、格納された補正值パラメータである変化点aとb、各点と終点に対応する傾き1と傾き2と傾き3から描画される直線近似波形により、倍率の影響による歪み量をキャンセルすることができる。歪み量をキャンセルすることにより、理想的な直線性の高い波形を生成することができる。

30

【0050】

操作補助機能であるラスタローテーション(観察画面の回転)によりスキャン信号の走査方向を変化させるため、スキャン波形が歪む場合がある。各回転角度の歪み量が計測され、計測した歪み量の逆特性である補正值が波形取得部110内の取得波形格納メモリ115に格納される。格納された補正值パラメータである変化点aとbと、各点と終点を結ぶ傾き1と傾き2と傾き3から直線近似波形が描画される。そして、描画した直線近似波形と歪んだ波形を演算することで、回転による歪みをキャンセルすることができる。

40

【0051】

なお、補正前のスキャン波形信号はスキャン生成後から回路を通るため、実際の補正するタイミングより遅延する。このため、時間補正部206は、補正するタイミングをレジスタ設定により時間調整することができる。

【0052】

<回路規模(第1モード)について>

図9は、全てLUTで補正する手法(比較例)と基本LUTおよび直線近似にて補正する手法(本実施形態)の回路規模の比較を示す図である。本実施形態によれば、メモリ容

50

量が比較例の約 25%まで低減できることが分かる。また、レジスタ設定時間（FPGA 内部において、パラメータをその格納部から演算部まで伝送する時間）は、比較例の僅か 0.05%であることが分かる。つまり、直線近似にすることで、倍率歪み、電子ビームの偏向コイルに流れる電流の歪み、スキャン速度、電子プローブの走査方向（ラスタローテーション）による歪みに対して、すべての条件毎に補正を行うことができ、回路規模を低減し、低価格な装置を実現する。また、レジスタ設計時間も短縮でき、高速スキャン時にも対応が可能となる。

本実施形態は、偏向コイルの歪み量は、基本 LUT 補正部で補正し、各観察条件依存の歪みは、直線近似補正でリアルタイムに補正を行う。

【0053】

<第2モードによるスキャン波形生成装置 112 の内構成例>

図 10 は、第2モードによるスキャン波形生成装置 112 の内構成例を示す図である。スキャン波形生成装置 112 は、コンピュータ 113 からのコマンド（スキャンパラメータを指示するためのスキャン設定コマンドや歪補正値を取得するための補正コマンド）および波形取得部 110 からの出力を入力とし、スキャン生成部 201 と、X 方向スキャン信号 202 を補正する基本 LUT 補正部 204 - 1 と、Y 方向スキャン信号 203 を補正する基本 LUT 補正部 204 - 2 と、曲線近似補正部 1001 と、時間補正部 206 と、を備える。曲線近似補正部 1001 は、X 方向のスキャン速度歪みを補正するスキャン速度補正部 1002 - 1 と、Y 方向のスキャン速度歪みを補正するスキャン速度補正部 1002 - 2 と、X 方向の倍率歪みを補正する倍率補正部 1003 - 1 と、Y 方向の倍率歪みを補正する倍率補正部 1003 - 2 と、X 方向の回転歪みを補正する回転補正部 1004 - 1 と、Y 方向の回転歪みを補正する回転補正部 1004 - 2 と、を有する。

【0054】

基本 LUT 補正部 204 - 1 および 204 - 2 は、図 2 と同様に、あらかじめ 16 ビットの入力 X 座標値に対応する、歪みの逆特性である補正値データを格納するテーブルを有し、入力する X 座標値に対応した変換データを出力して歪みを補正する。

【0055】

曲線近似補正部 1001 は、小容量 LUT を用いて、第1モードにおける近似直線の変換点付近（傾きが大きく変化する箇所）を滑らかな曲線で近似してそれぞれ（スキャン速度、観察倍率、回転）の歪みを補正する。直線近似補正は、変化点付近の傾きが急となり補正精度が粗くなるが、曲線近似補正は、小容量 LUT により滑らかに曲線で補正できるため、直線近似補正より補正精度が高い。加えて曲線補正の範囲を限定することで、上述の比較例よりメモリ容量および補正時間を低減することができる。なお、小容量 LUT は、X スキャンおよび Y スキャンのスキャン速度補正部と、倍率補正部、回転補正部にそれぞれついて用意される。

【0056】

<曲線近似による歪み補正処理（第2モード）の内容>

図 11 は、本実施形態（第2モード）の曲線近似による歪み補正処理を説明するためのフローチャートである。第1モードの直線近似補正は、変化点付近の傾きが大きく変化するため、補正が粗くなる場合がある。一方、曲線近似による補正は、補正値を小容量 LUT（基本 LUT とは別に）に設定することで、変化点付近が滑らか形となる。そのため第1モードよりも補正の精度を高くすることが可能となる。

【0057】

(i) ステップ 1101

スキャン生成部 201 は、波形取得部 110 により取得したスキャン波形を取得する。

【0058】

(ii) ステップ 1102

スキャン生成部 201 は、ステップ 1101 で取得したスキャン波形と、歪み計測のための基準波形（理想的な波形：例えば、速度が最も遅いスキャンによって取得した波形）とを比較し、差異を歪み量として計測する。

10

20

30

40

50

【 0 0 5 9 】

(iii) ステップ 1 1 0 3

スキャン生成部 2 0 1 は、ステップ 1 1 0 2 で計測した歪み量の逆特性を算出する。

【 0 0 6 0 】

(iv) ステップ 1 1 0 4

スキャン生成部 2 0 1 は、基本 L U T 補正部 2 0 4 - 1 および 2 0 4 - 2 に逆特性である補正値を設定する。

【 0 0 6 1 】

(v) ステップ 1 1 0 5

スキャン生成部 2 0 1 は、スキャン速度を任意に数パターン設定し、各パターンの各変化点付近（始点と終点が指定される）における得られた歪み量から逆特性の補正値（パラメータ）を算出し、その補正値をスキャン速度補正部 1 0 0 2 - 1 および 1 0 0 2 - 2 の小容量 L U T（図示せず）に設定する。

10

【 0 0 6 2 】

(vi) ステップ 1 1 0 6

スキャン生成部 2 0 1 は、同様に、倍率を任意に数パターン設定し、各パターンの各変化点付近（始点と終点が指定される）における歪み量から逆特性の補正値（パラメータ）を算出し、倍率補正部 1 0 0 3 - 1 および 1 0 0 3 - 2 の小容量 L U T（図示せず）に補正値を設定する。

【 0 0 6 3 】

(vii) ステップ 1 1 0 7

スキャン生成部 2 0 1 は、同様に、回転（角度）を任意の数パターンを設定し、各パターンの各変化点付近（始点と終点が指定される）の歪み量から逆特性の補正値（パラメータ）を算出し、回転補正部 1 0 0 4 - 1 および 1 0 0 4 - 2 の小容量 L U T（図示せず）に補正値を設定する。

20

【 0 0 6 4 】

(viii) ステップ 1 1 0 8

その後、スキャン生成部 2 0 1 から出力されたスキャン波形が、基本 L U T 補正部 2 0 4 - 1 および 2 0 4 - 2、スキャン速度補正部 1 0 0 2 - 1 および 1 0 0 2 - 2、倍率補正部 1 0 0 3 - 1 および 1 0 0 3 - 2、回転補正部 1 0 0 4 - 1 および 1 0 0 4 - 2 において補正され、D / A コンバータ 1 1 1 へ出力される。D / A コンバータ 1 1 1 は、補正されたデジタル波形をアナログ波形に変換し、変換されたスキャン波形（アナログ波形）を偏向器 1 0 4 に送る。

30

【 0 0 6 5 】

(ix) ステップ 1 1 0 9

偏向器 1 0 4 は、一次電子ビームを走査することで歪みのない画像を表示する。なお、補正は、一次電子ビームの X 方向と Y 方向に対して独立して行われる。

【 0 0 6 6 】

< 曲線近似補正（第 2 モード）の演算回路の構成例 >

図 1 2 は、曲線近似補正（第 2 モード）の演算回路の構成例を示す図である。曲線近似補正の演算回路は、例えば、加算器 1 2 0 3 と、比較器 1 2 0 4 と、セレクトア 1 2 0 5 と、データ型変換部 1 2 0 6 と、範囲選択部 1 2 0 7 と、によって構成することができる。

40

【 0 0 6 7 】

スキャン生成部 2 0 1 は、小容量 L U T の計算結果から始点 1 2 0 1 と終点 1 2 0 2（曲線近似すべき箇所（変化点の近傍）の始点と終点：どの範囲に小容量 L U T を適用して曲線近似するかを示す情報）を算出して、レジスタ設定する。比較器 1 2 0 4 は、スキャン座標と算出した始点 1 2 0 1 および終点 1 2 0 2 とを比較する。範囲選択部 1 2 0 7 は、範囲の選択を行い、セレクトア 1 2 0 5 はスキャン波形を補正するか制御する。例えば、補正は、スキャン座標 1 6 b i t と小容量 L U T データ 9 b i t を加算することによって行われ、データ型が整数データに変換された後、出力される。

50

【0068】

<回路規模比較：比較例 v s 第2モード>

図13は、全てLUTで補正する手法（比較例）と基本LUT補正+曲線近似補正する手法（第2モード）の回路規模の比較結果を示す図である。

【0069】

小容量LUTの構成の例として、符号付9ビットのデータ幅で深さ512とすると、メモリ容量は約4.6Kbitで、XスキャンおよびYスキャンの補正部合計で、約27Kbitとなる。基本LUTのメモリ容量に足しても、約2.15Mbitであり、比較例の約四分の一である。第2モードは、直線近似補正と異なり、あくまでもLUT（小容量LUT）による演算であるため、演算器は各補正部に1つのみ使用される。したがって、演算器の使用数は、第1モードよりも削減される。また、レジスタ設定時間（FPGA内部において、パラメータをその格納部から演算部まで伝送する時間）も比較例の約1%で、リアルタイムに歪み補正を行えることが分かる。

10

【0070】

<波形取得部の構成例>

図14は、本実施形態による波形取得部110の内部構成例を示す図である。波形取得部110は、A/Dコンバータ114と、取得波形格納メモリ115と、偏向コイル1401と、電流センサ1402と、抵抗1403を備えている。波形取得部110は、偏向コイル1401の電流を電流センサ1402で測定した後、基準となる波形（理想的な波形：最も速度が遅いスキャンによって取得した波形）との比較で歪み量を取得する。そして、この歪み量は、取得波形格納メモリ115に記録され、スキャン波形生成装置112にスキャン波形として出力される。

20

【0071】

また、波形取得部110においては、電流のレンジを抵抗1403で調整することが可能であり、所望レベルの電流波形を取得できる。これにより偏向コイル1401の応答性の遅れによる歪みだけではなく、装置を用いることで各観察条件に起因するスキャン歪みを取得することが可能となる。つまり、僅かな装置の機差による歪みや、装置の経年劣化によるスキャン歪みに対しても何度でも補正を行うことが可能となる。

【0072】

<画像つなぎ機能>

図15は、本実施形態による画像つなぎ機能の概略を示す図である。画像つなぎ機能は、画像を複数枚撮像し、それをソフト処理によりつなぎ合わせて一枚の画像を生成する機能である。従来（第3モード）では、つなぎ合わせる前の画像を撮像する際に、スキャン時間を拡大することで歪みのない画像を取得しており（立ち上がり部分と立下り部分の画像を画像生成に用いない）、これにより画像つなぎ機能のスループットが大幅に低下していた。加えてスキャンを拡大してビーム照射しているため、試料ダメージも悪化する。

30

【0073】

一方、本実施形態の第1モードおよび第2モードでは、立ち上がり部分および立下り部分の画像を用いるため、スキャン時間が削減され、それによりスループットが向上する。さらに、スキャンを拡大させていたつなぎ部分へのビーム照射が不要となるため、画像つなぎの精度を向上させ、試料へのダメージを緩和することが可能となる。

40

【0074】

<シミュレーション評価による補正>

図16は、シミュレーション評価による補正值算出処理を説明するためのフローチャートである。

【0075】

(i) ステップ1601

コンピュータ113は、荷電粒子線装置の設計値からシミュレーション評価を行い、シミュレーション結果からスキャン出力波形の逆特性である補正值を算出する。

【0076】

50

(ii) ステップ 1602

コンピュータ 113 は、スキャン歪みアナログ波形から逆特性の離散化したデジタル値を算出する。逆特性の離散化したデジタル値の算出は、X 方向スキャンおよび Y 方向スキャンそれぞれに対して実行される。

【0077】

(iii) ステップ 1603

コンピュータ 113 は、ステップ 1602 で算出した補正値を基本 LUT 補正部 204 - 1 および 204 - 2 に設定する。

【0078】

なお、シミュレーション評価では基本 LUT に格納される補正値のみ算出可能であるため、スキャン速度、観察倍率、および回転による歪み量は計測することができない。しかし、偏向コイル 1401 の応答性の遅れによる歪みは計測できるため、逆特性の補正値を取得することは可能である。このため、設計段階で偏向コイル 1401 の歪み量は評価することができる。

10

【0079】

< 波形取得部 110 による補正値算出処理 >

図 17 は、波形取得部 110 による補正値算出処理を説明するためのフローチャートである。波形取得部 110 による補正値算出処理は、FPGA 回路のみ存在する段階（荷電粒子線装置の実機がまだ存在しない段階）で実行することができる。

【0080】

20

(i) ステップ 1701

波形取得部 110 は、スキャン出力波形を計測する。

【0081】

(ii) ステップ 1702

波形取得部 110 は、ステップ 1701 で計測したスキャン波形から逆特性のデジタル値を算出する。逆特性のデジタル値を算出する際は、波形取得部 110 は、X 方向スキャンおよび Y 方向スキャンごとに算出する。また、波形取得部 110 は、スキャン速度、観察倍率、および回転のそれぞれについて補正値を算出する。

【0082】

(iii) ステップ 1703

波形取得部 110 は、基本 LUT 補正部 204 - 1 および 204 - 2 に値を設定する。

【0083】

30

(iv) ステップ 1704

波形取得部 110 は、X 方向スキャンおよび Y 方向スキャンごとに、直線近似補正部 205 もしくは曲線近似補正部 1001 に補正値を設定する。

【0084】

波形取得部 110 による補正値算出処理は、荷電粒子線装置の実機を用いて補正値を算出する処理ではない。このため、装置機差による歪み量を計測することができない。しかし、偏向コイル 1401 および各観察条件に起因する歪みを計測することができ、様々な歪みに対して補正を行うことが可能となる。

40

【0085】

< 装置出荷時の補正値算出処理 >

図 18 は、装置出荷時の補正値算出処理を説明するためのフローチャートである。つまり、この補正値算出処理は、実機を用いた補正値の取得に関するものである。

【0086】

(i) ステップ 1801

スキャン生成部 201 は、出荷時の装置からスキャン出力波形を計測する。

【0087】

(ii) ステップ 1802

スキャン生成部 201 は、スキャン歪み波形のアナログ値から逆特性の離散化したデジ

50

タル値を算出する。

【 0 0 8 8 】

(iii) ステップ 1 8 0 3

スキャン生成部 2 0 1 は、ステップ 1 8 0 2 で算出したデジタル値を基本 L U T 補正部 2 0 4 - 1 および 2 0 4 - 2 に設定する。

【 0 0 8 9 】

(iv) ステップ 1 8 0 4

スキャン生成部 2 0 1 は、X 方向スキャンおよび Y 方向スキャンごとに、スキャン速度、観察倍率、および回転による歪みの逆特性を算出し、直線近似補正部 2 0 5 もしくは曲線近似補正部 1 0 0 1 に設定する。

10

【 0 0 9 0 】

なお、この場合、出荷時の装置でスキャン波形を計測するため、出荷後の経年劣化による歪みに対しては、補正を行うことはできない。しかし、出荷前の装置毎に補正を行うことができるため、機差による歪みを補正することが可能となる。

【 0 0 9 1 】

< ユーザによる補正值算出処理 >

図 1 9 は、ユーザ使用時の補正值算出処理を説明するためのフローチャートである。

【 0 0 9 2 】

(i) ステップ 1 9 0 1

スキャン生成部 2 0 1 は、出荷後の装置（使用中の装置：例えば、何年も使用している荷電粒子線装置）からスキャン出力波形を計測する。

20

【 0 0 9 3 】

(ii) ステップ 1 9 0 2

スキャン生成部 2 0 1 は、ステップ 1 9 0 1 で計測したスキャン波形から逆特性のデジタル値を算出する。逆特性のデジタル値を算出する際は、X 方向スキャンおよび Y 方向スキャンごとに算出される。また、スキャン生成部 2 0 1 は、X 方向スキャンおよび Y 方向スキャンごとに、スキャン速度、観察倍率、および回転による補正值を算出する。

【 0 0 9 4 】

(iii) ステップ 1 9 0 3

スキャン生成部 2 0 1 は、基本 L U T 補正部 2 0 4 に補正值を設定する。

30

【 0 0 9 5 】

(iv) ステップ 1 9 0 4

スキャン生成部 2 0 1 は、直線近似補正部 2 0 5 もしくは曲線近似補正部 1 0 0 1 に補正值を設定する。

【 0 0 9 6 】

(v) ステップ 1 9 0 5

スキャン生成部 2 0 1 は、ユーザの指示にตอบสนองして、再度スキャン波形を計測する。

【 0 0 9 7 】

(vi) ステップ 1 9 0 6

スキャン生成部 2 0 1 は、ステップ 1 9 0 5 で計測した波形から補正值を取得し、基本 L U T 補正部 2 0 4 - 1 および 2 0 4 - 2 に補正值を再設定する。同様に、スキャン生成部 2 0 1 は、スキャン速度、観察倍率、および回転ごとに直線近似補正部 2 0 5 もしくは曲線近似補正部 1 0 0 1 に補正值を再設定する。つまり、出荷後、装置の経年劣化によるスキャン歪みをユーザが任意に、再補正を行うことが可能となる。したがって、装置のメンテナンスをユーザ自身で行うことができる。

40

【 0 0 9 8 】

< 変形例 >

荷電粒子線装置 1 0 0 において、上述の第 1 モード、第 2 モード、及び第 3 モードに対応するそれぞれの機能を設け、何れかを選択して試料 1 0 8 を走査し、観察できるようにしてもよいし、第 1 モードあるいは第 2 モードと第 3 モードに対応する機能を設け、試料

50

108を観察できるようにしてもよい。また、第1モードあるいは第2モードの何れかの機能を有するように荷電粒子線装置100を構成してもよい。

【0099】

<まとめ>

(i)本実施形態によれば、スキャン波形(デジタルスキャン波形)を補正するためのパラメータを格納する基本LUTを用いて偏向コイルの歪み特性を補正する。また、本実施形態では、直線近似補正部205および曲線近似補正部1001は、スキャン速度、倍率、および回転の少なくとも一つを含む条件に応じて、基本LUTから取得した補正パラメータを変更する。具体的には、補正パラメータは、(i)基本LUTに格納された、所定条件での歪み特性の逆特性の第1パラメータセット(偏向コイルの応答性の遅れによる歪みを補正するパラメータ)と、(ii)スキャン速度、倍率、および回転の各条件に応じた第2パラメータセット(基本LUTの補正パラメータを各条件に応じて変更して生成されたパラメータ)と、の組み合わせで構成される。第2パラメータセットは、スキャン速度、倍率、および回転の少なくとも一つを含む条件に対応する歪みを補正する、直線近似による歪み補正のためのパラメータ、あるいは曲線近似による歪み補正のためのパラメータである。そして、第1パラメータセットによって第1補正を実行した後、第2パラメータセットによって第2補正(各条件に合せた補正)を実行することにより、歪み特性を補正する。このようにすることにより、様々な観察条件で歪みのない画像を逐次観察できる。また、基本LUTによる基本的な像質の改善だけでなく、視野内の測長再現性、画像解析の精度や画像つなぎ機能を改善する件となる。さらに、倍率歪み、電子ビームの偏向コイルに流れる電流の歪み、スキャン速度、電子プローブの走査方向(ラスタローテーション)による歪みに対して、すべての条件毎に補正を行うことができ、直線近似または曲線近似により、回路規模を低減し、低価格な装置を実現することができる。また、スキャン歪み補正により、画像つなぎ機能のスループットおよびつなぎ精度を向上させることができる。さらに、スキャン波形取得手段によって、装置出荷後においてもスキャン歪み補正ができるため、経年劣化による歪みを再補正できる。

【0100】

(ii)本実施形態の機能は、ソフトウェアのプログラムコードによっても実現できる。この場合、プログラムコードを記録した記憶媒体をシステム或は装置に提供し、そのシステム或は装置のコンピュータ(又はCPUやMPU)が記憶媒体に格納されたプログラムコードを読み出す。この場合、記憶媒体から読み出されたプログラムコード自体が前述した実施形態の機能を実現することになり、そのプログラムコード自体、及びそれを記憶した記憶媒体は本開示を構成することになる。このようなプログラムコードを供給するための記憶媒体としては、例えば、フレキシブルディスク、CD-ROM、DVD-ROM、ハードディスク、光ディスク、光磁気ディスク、CD-R、磁気テープ、不揮発性のメモリカード、ROMなどが用いられる。

【0101】

また、プログラムコードの指示に基づき、コンピュータ上で稼動しているOS(オペレーティングシステム)などが実際の処理の一部又は全部を行い、その処理によって前述した実施の形態の機能が実現されるようにしてもよい。さらに、記憶媒体から読み出されたプログラムコードが、コンピュータ上のメモリに書きこまれた後、そのプログラムコードの指示に基づき、コンピュータのCPUなどが実際の処理の一部又は全部を行い、その処理によって前述した実施の形態の機能が実現されるようにしてもよい。

【0102】

さらに、本実施形態の機能を実現するソフトウェアのプログラムコードを、ネットワークを介して配信することにより、それをシステム又は装置のハードディスクやメモリ等の記憶手段又はCD-RW、CD-R等の記憶媒体に格納し、使用時にそのシステム又は装置のコンピュータ(又はCPUやMPU)が当該記憶手段や当該記憶媒体に格納されたプログラムコードを読み出して実行するようにしてもよい。

【0103】

10

20

30

40

50

最後に、ここで述べたプロセス及び技術は本質的に如何なる特定の装置に関連することはなく、コンポーネントの如何なる相応しい組み合わせによってでも実装できることを理解する必要がある。更に、汎用目的の多様なタイプのデバイスがここで記述した教授に従って使用可能である。ここで述べた方法のステップを実行するのに、専用の装置を構築するのが有益であることが判るかもしれない。また、実施形態に開示されている複数の構成要素の適宜な組み合わせにより、種々の発明を形成できる。例えば、実施形態に示される全構成要素から幾つかの構成要素を削除してもよい。さらに、異なる実施形態にわたる構成要素を適宜組み合わせてもよい。本開示は、具体例に関連して記述したが、これらは、すべての観点に於いて限定の為ではなく説明の為である。本分野にスキルのある者には、本開示を実施するのに相応しいハードウェア、ソフトウェア、及びファームウェアの多数の組み合わせがあることが解るであろう。例えば、記述したソフトウェアは、アセンブラ、C/C++、perl、Shell、PHP、Java（登録商標）等の広範囲のプログラム又はスクリプト言語で実装できる。

10

【0104】

さらに、上述の実施形態において、制御線や情報線は説明上必要と考えられるものを示しており、製品上必ずしも全ての制御線や情報線を示しているとは限らない。全ての構成が相互に接続されていても良い。

【0105】

加えて、本技術分野の通常の知識を有する者には、本開示のその他の実装がここに開示された本開示の明細書及び実施形態の考察から明らかになる。記述された実施形態の多様な態様及び/又はコンポーネントは、単独又は如何なる組み合わせでも使用することが出来る。明細書と具体例は典型的なものに過ぎず、本開示の範囲と精神は後続する請求範囲で示される。

20

【符号の説明】

【0106】

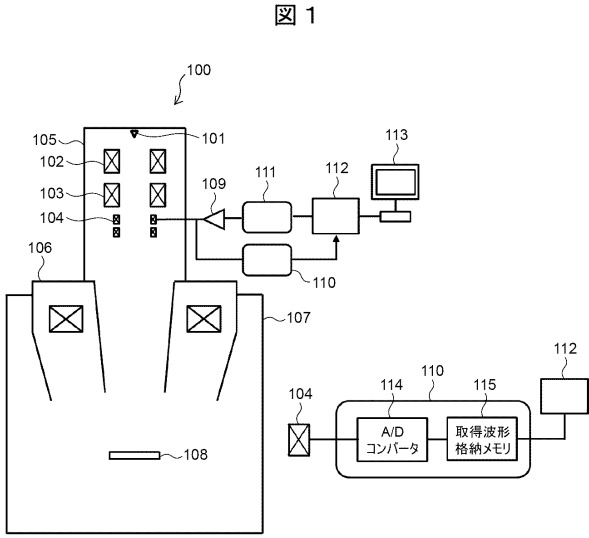
101 電子源、102 第1コンデンサレンズ、103 第2コンデンサレンズ、104 偏向器、105 筐体、106 対物レンズ、107 試料室、108 試料、109 アンブ、110 波形取得部、111 D/Aコンバータ、112 スキャン波形生成装置、113 ディスプレイ付きコンピュータ、114 A/Dコンバータ、115 取得波形格納メモリ、201 スキャン生成部、202 X方向スキャン信号、203 Y方向スキャン信号、204 基本LUT補正部、205 直線近似補正部、206 時間補正部、207 スキャン速度補正部、208 倍率補正部、209 回転補正部、301 乗算器、302 加算器、303 セレクタ、304 比較器、401 GUI、402 観察画面、403 歪み補正モード切替部、404 補正值取得部、405 補正值設定部、406 観察条件設定部、1001 曲線近似補正部、1201 始点、1202 終点、1203 加算器、1204 比較器、1205 セレクタ、1206 データ型変換部、1207 範囲選択部、1401 偏向コイル、1402 電流センサ、1403 抵抗

30

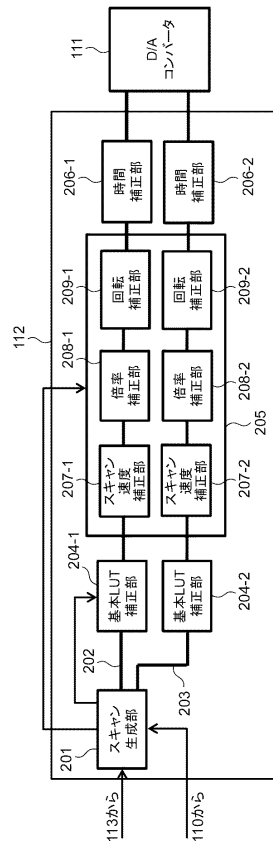
40

50

【図面】
【図 1】



【図 2】



10

20

30

40

50

【 図 3 】

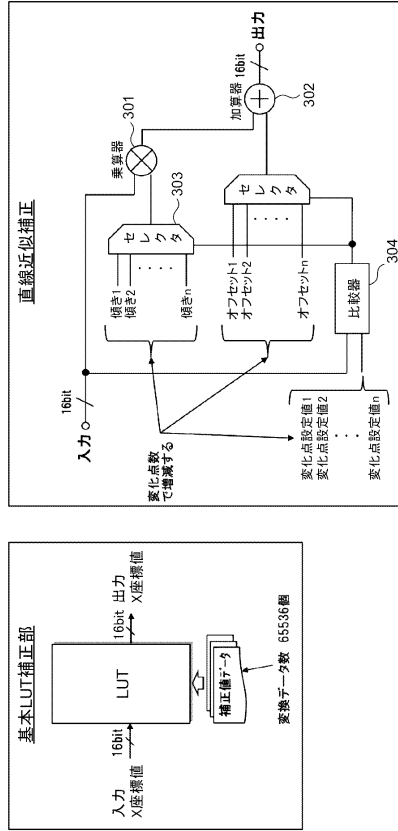


図 3

【 図 4 】

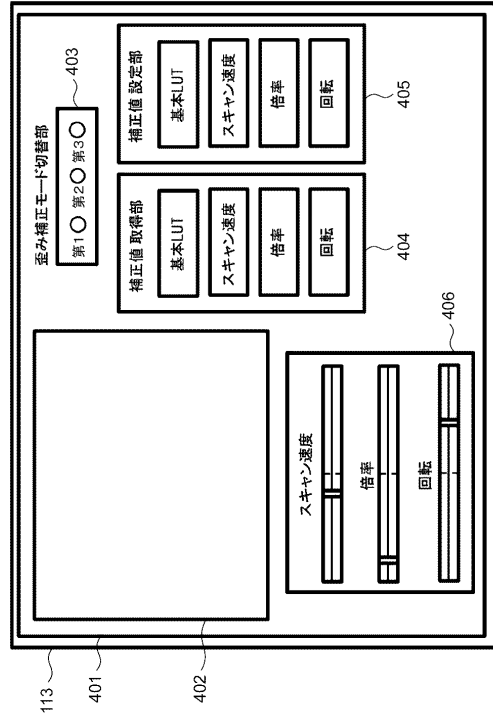


図 4

【 図 5 】

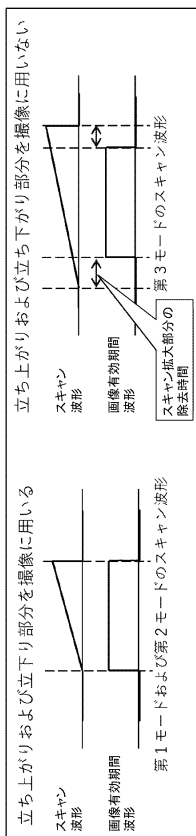


図 5

【 図 6 】

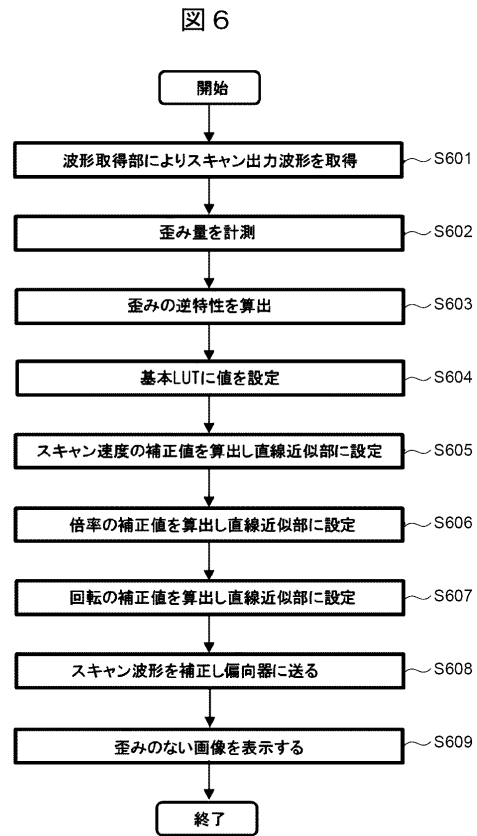
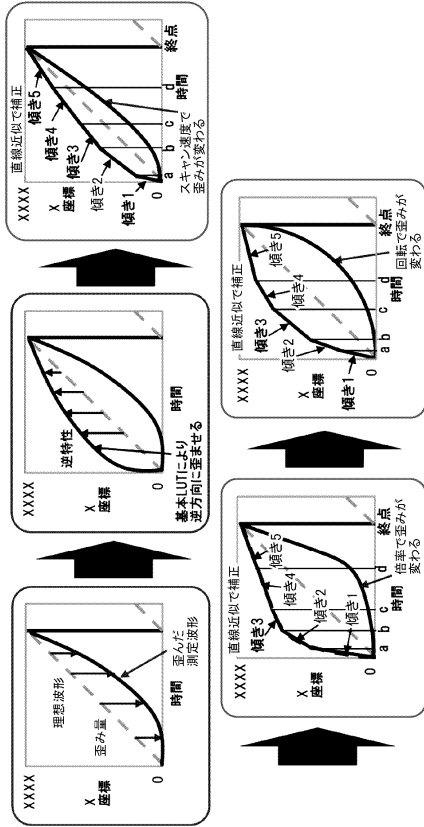


図 6

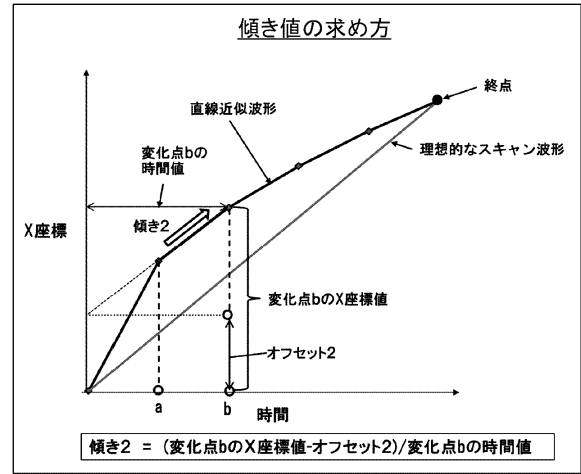
【図7】

図7



【図8】

図8



10

20

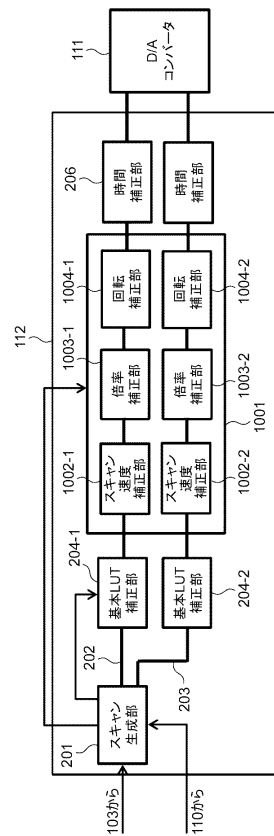
【図9】

図9

回路規模		比較例	LUT+直線近似
		全てLUT	数%
ロジック	メモリ	8.39Mbit	2.10Mbit
	演算器	—	18個
レジスタ設定時間		393,280回×T	196回×T

【図10】

図10



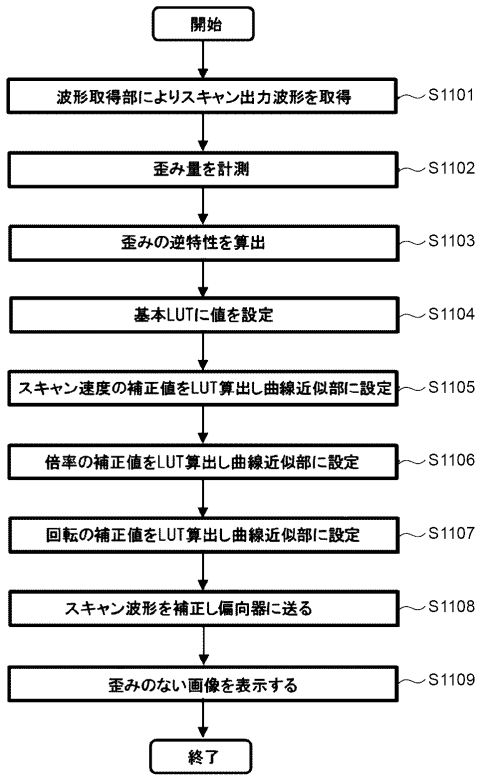
30

40

50

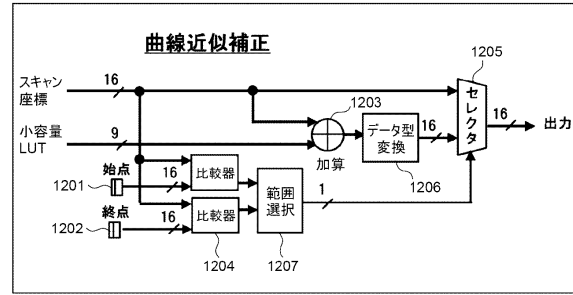
【図 1 1】

図 1 1



【図 1 2】

図 1 2



10

20

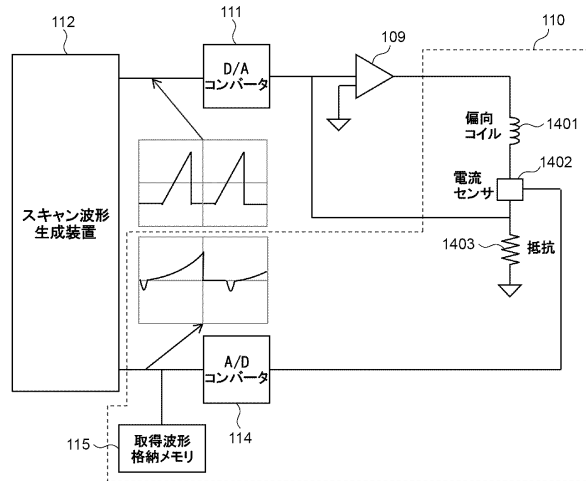
【図 1 3】

図 1 3

		比較例 全てLUT	LUT+曲線近似
FPGA 回路規模	ロジック	—	数%
	メモリ	8.39Mbit ・1,048,576bit × 4個 × 2(X/Y)	2.15Mbit ・1,048,576bit × 2(X/Y) ・4,608bit × 6個 = 27648
	演算器	—	6個 1 × 3 × 2(X/Y)
レジスタ設定時間	393,280回 × T ・(65536深さ × 3種 + 32深さ) × 2(X/Y)	3136回 × T ・(512深さ × 3種 + 32深さ) × 2(X/Y)	

【図 1 4】

図 1 4



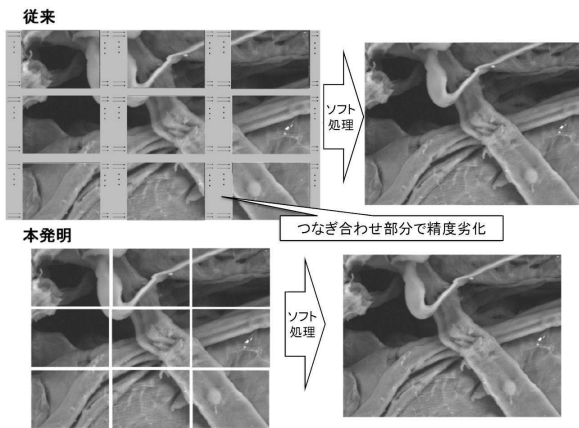
30

40

50

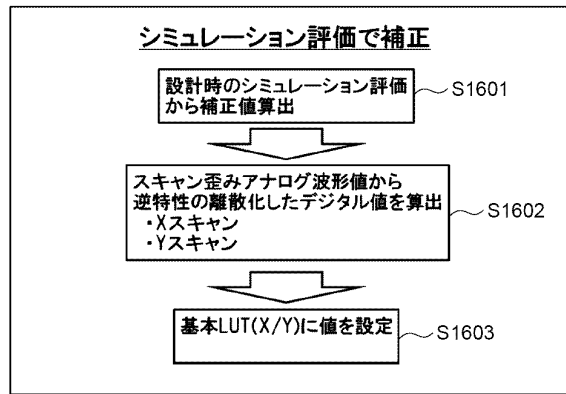
【図15】

図15



【図16】

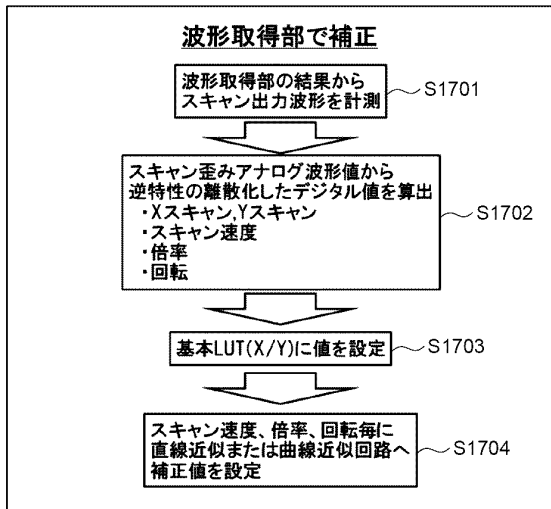
図16



10

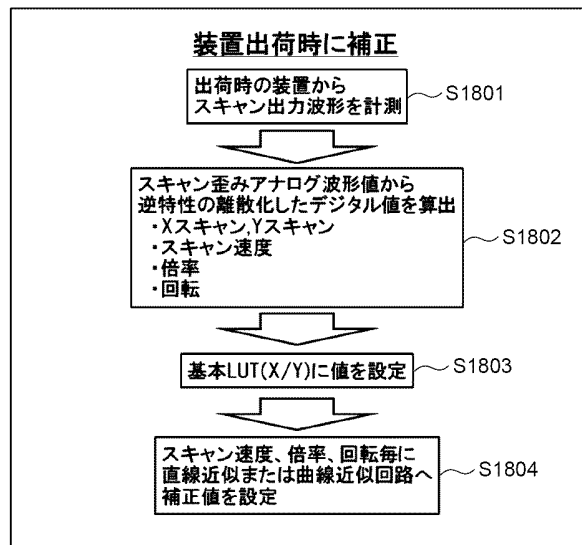
【図17】

図17



【図18】

図18



20

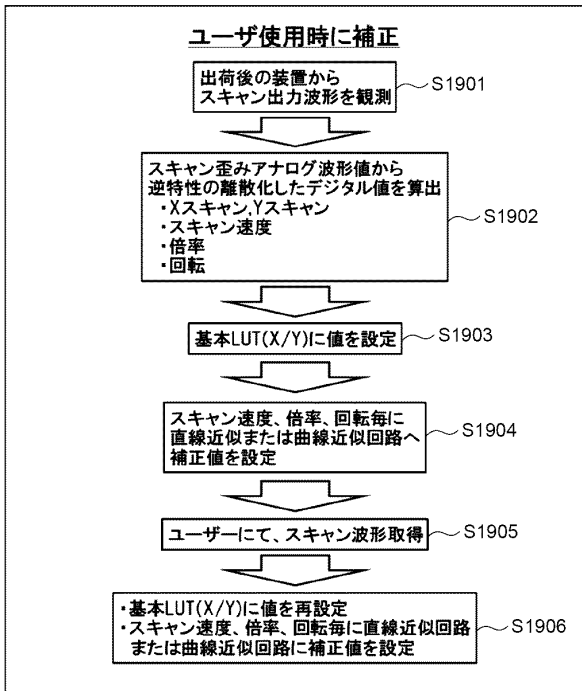
30

40

50

【 図 1 9 】

図 1 9



10

20

30

40

50

フロントページの続き

- 東京都港区虎ノ門一丁目17番1号 株式会社日立ハイテク内
(72)発明者 関 勇介
- 東京都港区虎ノ門一丁目17番1号 株式会社日立ハイテク内
(72)発明者 上 蘭 巧
- 東京都千代田区丸の内一丁目6番6号 株式会社日立製作所内
(72)発明者 中村 光宏
- 東京都港区虎ノ門一丁目17番1号 株式会社日立ハイテク内
審査官 中尾 太郎
- (56)参考文献 特開平01-239742(JP,A)
特開平02-236936(JP,A)
特開2015-133267(JP,A)
特開2018-195545(JP,A)
米国特許出願公開第2008/0315112(US,A1)
- (58)調査した分野 (Int.Cl., DB名)
H01J 37/153
H01J 37/147