

(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
2021年10月21日(21.10.2021)



(10) 国際公開番号

WO 2021/210612 A1

- (51) 国際特許分類:
G01N 23/04 (2018.01) G01N 23/083 (2018.01)
A61B 6/00 (2006.01) G06T 5/00 (2006.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2021/015464
- (22) 国際出願日: 2021年4月14日(14.04.2021)
- (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 2020-073576 2020年4月16日(16.04.2020) JP
特願 2020-073578 2020年4月16日(16.04.2020) JP
特願 2021-021673 2021年2月15日(15.02.2021) JP
- (71) 出願人: 浜松ホトニクス株式会社 (HAMAMATSU PHOTONICS K.K.) [JP/JP];
〒4358558 静岡県浜松市東区市野町 1 1 2 6 番地の 1 Shizuoka (JP).
- (72) 発明者: 大西 達也 (ONISHI Tatsuya); 〒4358558
静岡県浜松市東区市野町 1 1 2 6 番地の 1

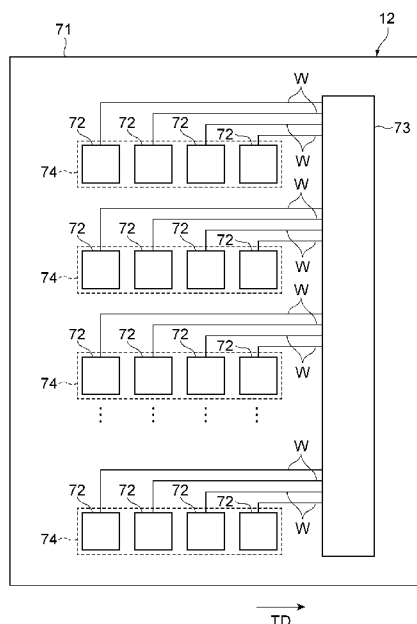
浜松ホトニクス株式会社内 Shizuoka (JP). 須山 敏康 (SUYAMA Toshiyasu); 〒4358558 静岡県浜松市東区市野町 1 1 2 6 番地の 1 浜松ホトニクス株式会社内 Shizuoka (JP). 土屋 智 (TSUCHIYA Satoshi); 〒4358558 静岡県浜松市東区市野町 1 1 2 6 番地の 1 浜松ホトニクス株式会社内 Shizuoka (JP).

(74) 代理人: 長谷川 芳樹, 外 (HASEGAWA Yoshiki et al.); 〒1000005 東京都千代田区丸の内二丁目 1 番 1 号丸の内 M Y P L A Z A (明治安田生命ビル) 9 階 創英国際特許法律事務所 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, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, IT, JO, JP, KE, KG, KH, KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY,

(54) Title: RADIOGRAPHIC IMAGE ACQUIRING DEVICE, RADIOGRAPHIC IMAGE ACQUIRING SYSTEM, AND RADIOGRAPHIC IMAGE ACQUISITION METHOD

(54) 発明の名称: 放射線画像取得装置、放射線画像取得システム、及び放射線画像取得方法



(57) Abstract: An image acquiring device 1 is provided with a camera 10 which captures an image by scanning, in one direction, radiation that has been transmitted through a target object, to acquire an X-ray image, a scintillator 11 which is provided on the camera 10 to convert X-rays into light, and a control device 20 which executes noise removal processing to remove noise from the X-ray image, by inputting the X-ray image into a trained model that has been built in advance by machine learning employing image data, wherein the camera 10 includes: a scanning camera 12 which is configured by aligning, in a direction perpendicular to said one direction, N (N is an integer at least equal to 2) pixel lines 74 having M (M is an integer at least equal to 2) pixels 72 aligned in said one direction, and which outputs a detection signal relating to light for each pixel 72; and a read-out circuit 73 which, for each of the N pixel lines 74 in the scanning camera 12, adds together the detection signals output from at least two pixels 72 among the M pixels, and sequentially outputs the added N detection signals to output the X-ray image.

WO 2021/210612 A1

MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ,
NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT,
QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL,
ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG,
US, UZ, VC, VN, WS, ZA, ZM, ZW.

- (84) 指定国(表示のない限り、全ての種類の広域保護が可能): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシア (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), ヨーロッパ (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

添付公開書類：

- 一 国際調査報告 (条約第21条(3))

(57) 要約：画像取得装置1は、対象物を透過した放射線を一の方向にスキャンして撮像してX線画像を取得するカメラ10と、カメラ10上に設けられ、X線を光に変換するシンチレータ11と、X線画像を予め画像データを用いて機械学習によって構築された学習済みモデルに入力させて、X線画像からノイズを除去するノイズ除去処理を実行する制御装置20と、を備え、カメラ10は、一の方向に沿って配列されたM個(Mは、2以上の整数)の画素72を有する画素ライン74が、一の方向に直交する方向にN列(Nは2以上の整数)配列されて構成され、画素72毎に光に関する検出信号を出力するスキャンカメラ12と、スキャンカメラ12のN列の画素ライン74毎に、M個の画素のうち少なくとも2個の画素72から出力される検出信号を加算し、加算したN個の検出信号を順次出力することにより、X線画像を出力する読み出し回路73と、を含む。

明 細 書

発明の名称：

放射線画像取得装置、放射線画像取得システム、及び放射線画像取得方法

技術分野

[0001] 実施形態の一側面は、放射線画像取得装置、放射線画像取得システム、及び放射線画像取得方法に関する。

背景技術

[0002] 従来から、対象物の搬送方向に直交して配置されたラインセンサを複数列設けて、複数列のラインセンサから出力された検出データを加算することにより、対象物を透過したX線等の電磁波の分布を画像データとして取得する装置が用いられている。このような装置によれば、対象物を透過した電磁波を検出した画像データにおいて積分露光効果を得ることができる。

先行技術文献

特許文献

[0003] 特許文献1：再公表特許WO2019/082276号公報

特許文献2：特開2019-158663号公報

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0004] 上述したような従来装置においては、複数列のラインセンサから得られる検出データを加算することにより、加算結果において信号値が向上するとともにノイズ値も増加する傾向にある。そのため、画像データにおいてS/N比が十分に向上しない場合があった。

[0005] そこで、実施形態の一側面は、かかる課題に鑑みてなされたものであり、放射線画像におけるS/N比を効果的に向上できる放射線画像取得装置、放射線画像取得システム、及び放射線画像取得方法を提供することを課題とする。

課題を解決するための手段

- [0006] 実施形態の一側面に係る放射線画像取得装置は、対象物を透過した放射線を一の方向にスキャンして撮像して放射線画像を取得する撮像装置と、撮像装置上に設けられ、放射線を光に変換するシンチレータと、放射線画像を予め画像データを用いて機械学習によって構築された学習済みモデルに入力させて、放射線画像からノイズを除去するノイズ除去処理を実行する画像処理モジュールと、を備え、撮像装置は、一の方向に沿って配列されたM個（Mは、2以上の整数）の画素を有する画素ラインが、一の方向に直交する方向にN列（Nは2以上の整数）配列されて構成され、画素毎に光に関する検出信号を出力する検出素子と、検出素子のN列の画素ライン毎に、M個の画素のうち少なくとも2個の画素から出力される検出信号を加算し、加算したN個の検出信号を順次出力することにより、放射線画像を出力する読出回路と、を含む。
- [0007] あるいは、実施形態の他の側面に係る放射線画像取得システムは、上記の放射線画像取得装置と、対象物に放射線を照射する発生源と、対象物を撮像装置に対して一の方向に搬送する搬送装置と、を備える。
- [0008] あるいは、実施形態の他の側面に係る放射線画像取得方法は、対象物を透過した放射線に応じたシンチレーション光を一の方向にスキャンして撮像して放射線画像を取得するステップと、放射線画像を予め画像データを用いて機械学習によって構築された学習済みモデルに入力させて、放射線画像からノイズを除去するノイズ除去処理を実行するステップと、を備え、取得するステップでは、一の方向に沿って配列されたM個（Mは、2以上の整数）の画素を有する画素ラインが、一の方向に直交する方向にN列（Nは2以上の整数）配列されて構成され、画素毎にシンチレーション光に関する検出信号を出力する検出素子を用いて、検出素子のN列の画素ライン毎に、M個の画素のうち少なくとも2個の画素から出力される検出信号を加算し、加算したN個の検出信号を順次出力することにより、放射線画像を出力する。
- [0009] 上記一側面あるいは他の側面のいずれかによれば、対象物を透過した放射

線に応じたシンチレーション光が、対象物のスキャンの方向に配列されたM個の画素を有する画素ラインがN列で配列された検出素子によって検出され、画素ライン毎に出力されたM個の画素の検出信号のうち少なくとも2個の画素の検出信号が加算され、加算されたN個の検出信号が順次出力されることにより、放射線画像が出力される。加えて、出力された放射線画像を、予め画像データを用いた機械学習により構築された学習済みモデルに入力させることにより、その放射線画像に対してノイズ除去処理が施される。これにより、放射線画像において信号成分を大きくしつつノイズ成分を除去することができ、放射線画像におけるS/N比を効果的に向上させることができる。

発明の効果

[0010] 実施形態によれば、放射線画像におけるS/N比を効果的に向上させることができる。

図面の簡単な説明

[0011] [図1]第1実施形態にかかる画像取得装置1の概略構成図である。

[図2]図1のスキャンカメラ12の構成を示す平面図である。

[図3]図1の制御装置20のハードウェア構成の一例を示すブロック図である。

[図4]図1の制御装置20の機能構成を示すブロック図である。

[図5]図4の画像取得部203が取得したX線画像の一例を示す図である。

[図6]図4のノイズマップ生成部204によるノイズ標準偏差マップの生成例を示す図である。

[図7]図4の学習済みモデル207の入出力データの一例を示す図である。

[図8]学習済みモデル207の構築に用いられる訓練データの1つである訓練画像の一例を示す図である。

[図9]構築部206による学習済みモデル207の構築に用いられる教師データ(訓練データ)である画像データの作成手順を示すフローチャートである。

- [図10]画像取得装置1による観察処理の手順を示すフローチャートである。
- [図11]本開示の変形例に係る制御装置20Aの機能構成を示すブロック図である。
- [図12]本開示の変形例に係る画像取得装置1による観察処理の手順を示すフローチャートである。
- [図13]図11の算出部202Aによる透過X線のエネルギースペクトルのシミュレーション計算結果の一例を示すグラフである。
- [図14]図11の算出部202Aによる、対象物の厚さと平均エネルギー及び透過率との関係のシミュレーション計算結果の一例を示す図表である。
- [図15]図11の算出部202Aによる、対象物の厚さとX線の透過率との関係のシミュレーション計算結果の一例を示すグラフである。
- [図16]図11の算出部202Aによる、対象物の厚さと透過X線の平均エネルギーとの関係のシミュレーション計算結果の一例を示すグラフである。
- [図17]図11の算出部202AによるX線画像の画素値と平均エネルギーとの関係のシミュレーション計算結果の一例を示すグラフである。
- [図18]X線画像の画素値とノイズ値の標準偏差との関係のシミュレーション計算結果の一例を示すグラフである。
- [図19]図11の算出部202Aにおいて導出される、対象物の材質が変化した場合の画素値とノイズ値の標準偏差との関係の一例を示すグラフである。
- [図20]本開示の別の変形例に係る制御装置20Bの機能構成を示すブロック図である。
- [図21]本開示の別の変形例に係る画像取得装置1による観察処理の手順を示すフローチャートである。
- [図22]図20のノイズマップ生成部204Bによるノイズ標準偏差マップの生成例を示す図である。
- [図23]本開示の別の変形例に係る画像取得装置1において撮像に用いられる治具の構造の一例を示す斜視図である。
- [図24]図23の治具の撮像画像の一例を示す図である。

[図25]第2実施形態に係る制御装置20Cの機能構成を示すブロック図である。

[図26]図25の学習済みモデル206Cの構築に用いられる教師データである画像データの一例を示す図である。

[図27]図25の選択部204Cの解析対象のX線透過画像の一例を示す図である。

[図28]図25の選択部204Cが取得した厚さ－輝度の特性グラフの一例を示す図である。

[図29]図25の選択部204Cが取得した輝度－SNRの特性グラフの一例を示す図である。

[図30]図25の選択部204Cによる画像特性に基づいた学習済みモデルの選択機能を説明するための図である。

[図31]図25の選択部204Cによる解像度の評価に用いられるX線透過画像の一例を示す図である。

[図32]図25の選択部204Cによる輝度－ノイズ比の評価に用いられる治具の構造の一例を示す斜視図である。

[図33]図32の治具を対象に得られたノイズ除去処理後のX線透過画像を示す図である。

[図34]第2実施形態に係る画像取得装置1を用いた観察処理の手順を示すフローチャートである。

[図35]第2実施形態の変形例に係る制御装置20Dの機能構成を示すブロック図である。

[図36]第2実施形態の変形例に係る画像取得装置1を用いた観察処理の手順を示すフローチャートである。

[図37]第3実施形態に係る制御装置20Eの機能構成を示すブロック図である。

[図38]図37の学習済みモデル206Eの構築に用いられる教師データである画像データの一例を示す図である。

[図39]図37の特定部202Eの解析対象のX線透過画像の一例を示す図である。

[図40]図37の特定部202Eが取得した厚さ－輝度の特性グラフの一例を示す図である。

[図41]図37の特定部202Eが取得した輝度－SNRの特性グラフの一例を示す図である。

[図42]図37の特定部202Eによる解像度の評価に用いられるX線透過画像の一例を示す図である。

[図43]図37の選択部204Eによる画像特性に基づいた学習済みモデルの選択機能を説明するための図である。

[図44]図37の選択部204Eによる輝度－ノイズ比の評価に用いられる治具の構造の一例を示す斜視図である。

[図45]図44の治具を対象に得られたノイズ除去処理後のX線透過画像を示す図である。

[図46]第3実施形態に係る画像取得装置1を用いた観察処理の手順を示すフローチャートである。

発明を実施するための形態

[0012] 以下、添付図面を参照して、本発明の実施形態について詳細に説明する。
なお、説明において、同一要素又は同一機能を有する要素には、同一符号を用いることとし、重複する説明は省略する。

[0013] [第1実施形態]

[0014] 図1は、本実施形態に係る放射線画像取得装置および放射線画像取得システムである画像取得装置1の構成図である。図1に示されるように、画像取得装置1は、搬送方向TDに搬送される対象物Fに対してX線（放射線）を照射し、対象物Fを透過したX線に基づき対象物Fを撮像したX線透過画像（放射線画像）を取得する装置である。画像取得装置1は、X線透過画像を用いて、対象物Fを対象にした異物検査、重量検査、検品検査などを行い、用途としては、食品検査、手荷物検査、基板検査、電池検査、材料検査等が

挙げられる。画像取得装置 1 は、ベルトコンベア（搬送装置）60 と、X線照射器（放射線発生源）50 と、X線検出カメラ（撮像装置）10 と、制御装置（画像処理モジュール）20 と、表示装置30 と、各種入力を行うための入力装置40 と、を備えて構成されている。なお、本開示の実施形態における放射線画像とは、X線画像に限らず、 γ 線などのX線以外の電磁放射線による画像も含む。

[0015] ベルトコンベア60は、対象物Fが載置されるベルト部を有しており、該ベルト部を搬送方向（一の方向）TDに移動させることにより、対象物Fを所定の搬送速度で搬送方向TDに搬送する。対象物Fの搬送速度は、例えば48m/分である。ベルトコンベア60は、必要に応じて、搬送速度を、例えば24m/分、96m/分等の搬送速度に変更することができる。また、ベルトコンベア60は、ベルト部の高さ位置を適宜変更し、X線照射器50と対象物Fとの距離を変更することができる。なお、ベルトコンベア60で搬送される対象物Fとしては、例えば、食肉、魚介類、農作物、菓子等の食品、タイヤ等のゴム製品、樹脂製品、金属製品、鉱物等の資源材料、廃棄物、及び電子部品や電子基板等、様々な物品を挙げることができる。X線照射器50は、X線源としてX線を対象物Fに照射（出力）する装置である。X線照射器50は、点光源であり、一定の照射方向に所定の角度範囲でX線を拡散させて照射する。X線照射器50は、X線の照射方向がベルトコンベア60に向けられると共に、拡散するX線が対象物Fの幅方向（搬送方向TDと交差する方向）全体に及ぶように、ベルトコンベア60から所定の距離を離れてベルトコンベア60の上方に配置されている。また、X線照射器50は、対象物Fの長さ方向（搬送方向TDと平行な方向）においては、長さ方向における所定の分割範囲が照射範囲とされ、対象物Fがベルトコンベア60にて搬送方向TDへ搬送されることにより、対象物Fの長さ方向全体に対してX線が照射されるようになっている。X線照射器50は、制御装置20により管電圧及び管電流が設定され、設定された管電圧及び管電流に応じた所定のエネルギー、放射線量のX線を、ベルトコンベア60に向けて照射す

る。また、X線照射器50のベルトコンベア60側の近傍には、X線の所定波長域を透過させるフィルタ51が設けられている。

[0016] X線検出カメラ10は、X線照射器50により対象物Fに照射されたX線のうち、対象物Fを透過したX線を検出し、該X線に基づく検出信号を取得及び出力する。本実施形態に係る画像取得装置1は、ベルトコンベア60によって搬送される対象物Fを透過するX線に基づく検出信号を順次出力することにより、X線透過像を搬送方向TDにスキャンして撮像したX線透過画像を出力する。

[0017] X線検出カメラ10は、フィルタ19、シンチレータ11と、スキャンカメラ12（検出素子）と、センサ制御部13と、アンプ14と、AD変換器15と、補正回路16と、出力インターフェース17と、アンプ制御部18と、を有している。シンチレータ11、スキャンカメラ12、アンプ14、AD変換器15、補正回路16、及び出力インターフェース17はそれぞれ電氣的に接続されている。

[0018] シンチレータ11は、スキャンカメラ12上に接着等により固定されており、対象物Fを透過したX線をシンチレーション光に変換する。シンチレータ11は、シンチレーション光をスキャンカメラ12に出力する。フィルタ19は、X線の所定波長域をシンチレータ11に向けて透過させる。

[0019] スキャンカメラ12は、シンチレータ11からのシンチレーション光を検出し、電荷に変換して、検出信号（電気信号）としてアンプ14に出力する。図2は、スキャンカメラ12の構成を示す平面図である。図2に示すように、スキャンカメラ12は、基板71上に2次元的に配列されたフォトダイオード（光電変換素子）である複数の画素72と、複数の画素72がシンチレーション光を光電変換して出力する検出信号を外部に出力する読み出し回路73と、読み出し回路73と複数の画素72のそれぞれとの間を電氣的に接続する配線部Wとを備える。

[0020] 詳細には、スキャンカメラ12は、基板71上に、搬送方向TDに沿って配列されたM個（Mは、2以上の整数）の画素72からなる画素ライン（画

素群) 74 が、搬送方向TDに略直交する方向にN列(Nは、2以上の整数)で配列された構成を有する。例えば、画素数Mは、4個であり、画素ライン数Nは、200以上30,000以下の任意の整数である。

[0021] 読み出し回路73は、センサ制御部13による制御に応じて、画素ライン74毎にM個の画素72から所定の検出周期(詳細は後述する。)の間隔で出力される検出信号を順次受け、M個の画素72からの検出信号のうち、少なくとも2個の画素72の検出信号を加算する(足し合わせる)処理を行い、画素ライン74毎に加算処理を施した検出信号を組み合わせ、搬送方向TDに直交する対象物Fの1ラインの検出信号として、外部に出力する。本実施形態では、読み出し回路73は、M個の全ての検出信号を対象に加算処理を行う。加えて、読み出し回路73は、所定の検出周期をずらしてM個の画素72から順次出力される検出信号を対象に加算処理を行うことにより、搬送方向TDに直交する対象物Fの次の1ラインの検出信号を出力する。同様にして、読み出し回路73は、搬送方向TDに直交する対象物Fの複数ラインの検出信号を順次出力する。

[0022] センサ制御部13は、スキャンカメラ12における画素ライン74内の全画素72が、対象物Fの同じ領域を透過したX線を撮像できるように、スキャンカメラ12を、所定の検出周期で繰り返し撮像するよう制御する。所定の検出周期は、スキャンカメラ12における画素ライン74内の画素72の画素幅に基づいて設定されてもよい。所定の検出周期は、例えば、スキャンカメラ12における画素ライン74内の画素72間の距離、ベルトコンベア60の速度、X線照射器50とベルトコンベア60上の対象物Fとの距離(FOD(Focus Object Distance:線源物体間距離))、並びに、X線照射器50とスキャンカメラ12との距離(FDD(Focus Detector Distance:線源センサ間距離))に基づいてスキャンカメラ12における画素ライン74内の画素72の検出タイミングのズレ(遅延時間)を特定し、そのズレを基に所定の検出周期が設定されてもよい。

[0023] アンプ14は、所定の設定増幅率にて検出信号を増幅して増幅信号を生成

し、該増幅信号をA D変換器15に出力する。設定増幅率は、アンプ制御部18によって設定される増幅率である。アンプ制御部18は、所定の撮像条件に基づいて、アンプ14の設定増幅率を設定する。

[0024] A D変換器15は、アンプ14により出力された増幅信号（電圧信号）をデジタル信号に変換し、補正回路16に出力する。補正回路16は、デジタル信号に対して、信号増幅等の所定の補正を行い、補正後のデジタル信号を出力インターフェース17に出力する。出力インターフェース17は、デジタル信号をX線検出カメラ10外部に出力する。

[0025] 制御装置20は、例えばP C (Personal Computer) 等のコンピュータである。制御装置20は、X線検出カメラ10（より詳細には、出力インターフェース17）から順次出力された複数ラインの検出信号に対応するデジタル信号（増幅信号）に基づいてX線透過画像を生成する。本実施形態では、制御装置20は、出力インターフェース17から出力された128ライン分のデジタル信号を基に、1つのX線透過画像を生成する。生成されたX線透過画像は、後述するノイズ除去処理が施された後に表示装置30に出力され、表示装置30によって表示される。また、制御装置20は、X線照射器50、アンプ制御部18、及びセンサ制御部13を制御する。なお、本実施形態の制御装置20は、X線検出カメラ10の外部に独立に設けられた装置であるが、X線検出カメラ10の内部に一体化されていてもよい。

[0026] 図3は、制御装置20のハードウェア構成を示している。図3に示すように、制御装置20は、物理的には、プロセッサであるC P U (Central Processing Unit) 101及びG P U 105 (Graphic Processing Unit)、記録媒体であるR A M (Random Access Memory) 102及びR O M (Read Only Memory) 103、通信モジュール104、及び入出力モジュール106等を含んだコンピュータ等であり、各々は電氣的に接続されている。なお、制御装置20は、入力装置40及び表示装置30として、ディスプレイ、キーボード、マウス、タッチパネルディスプレイ等を含んでいてもよいし、ハードディスクドライブ、半導体メモリ等のデータ記録装置を含んでいてもよい

。また、制御装置20は、複数のコンピュータによって構成されていてもよい。

[0027] 図4は、制御装置20の機能構成を示すブロック図である。制御装置20は、入力部201、算出部202、画像取得部203、ノイズマップ生成部204、処理部205、及び構築部206を備える。図4に示す制御装置20の各機能部は、CPU101、GPU105、及びRAM102等のハードウェア上にプログラム（第1実施形態の放射線画像処理プログラム）を読み込ませることにより、CPU101及びGPU105の制御のもとで、通信モジュール104、及び入出力モジュール106等を動作させるとともに、RAM102におけるデータの読み出し及び書き込みを行うことで実現される。制御装置20のCPU101及びGPU105は、このコンピュータプログラムを実行することによって制御装置20を図4の各機能部として機能させ、後述する放射線画像取得処理方法に対応する処理を順次実行する。なお、CPU101及びGPU105は、単体のハードウェアでもよく、いずれか一方のみでもよい。また、CPU101及びGPU105は、ソフトプロセッサのようにFPGAのようなプログラマブルロジックの中に実装されたものでもよい。RAMやROMについても単体のハードウェアでもよく、FPGAのようなプログラマブルロジックの中に内蔵されたものでもよい。このコンピュータプログラムの実行に必要な各種データ、及び、このコンピュータプログラムの実行によって生成された各種データは、全て、ROM103、RAM102等の内蔵メモリ、又は、ハードディスクドライブなどの記憶媒体に格納される。また、制御装置20内の内蔵メモリあるいは記憶媒体には、CPU101及びGPU105によって読み込まれることにより、CPU101及びGPU105にX線画像（X線透過画像）を対象にノイズ除去処理を実行させる学習済みモデル207が予め格納されている（後述する）。

[0028] 以下、制御装置20の各機能部の機能の詳細について説明する。

[0029] 入力部201は、放射線を照射して対象物Fを撮像する際の放射線の発生

源の条件あるいは撮像条件のいずれかを示す条件情報の入力を受け付ける。具体的には、入力部201は、対象物FのX線画像を撮像する際のX線照射器（放射線発生源）50の動作条件、あるいは、X線検出カメラ10による撮像条件等を示す条件情報の入力を、画像取得装置1のユーザから受け付ける。動作条件としては、管電圧、ターゲット角度、ターゲットの材料等の中の全部又は一部が挙げられる。撮像条件を示す条件情報としては、X線照射器50とX線検出カメラ10との間に配置されるフィルタ51, 19の材質及び厚さ、X線照射器50とX線検出カメラ10との距離（FDD）、X線検出カメラ10の窓材の種類、及び、X線検出カメラ10のシンチレータ11の材質及び厚さに関する情報、X線検出カメラ情報（例えば、ゲイン設定値、回路ノイズ値、飽和電荷量、変換係数値（e-/count）、カメラのラインレート（Hz）もしくはラインスピード（m/min））、対象物Fの情報等の中の全部又は一部が挙げられる。入力部201は、条件情報の入力を、数値等の情報の直接入力として受け付けてもよいし、予め内部メモリに設定された数値等の情報に対する選択入力として受け付けてもよい。入力部201は、上記の条件情報の入力をユーザから受け付けるが、一部の条件情報（管電圧等）を、制御装置20による制御状態の検出結果に応じて取得してもよい。

[0030] 算出部202は、条件情報を基に、対象物Fを透過したX線（放射線）に関する平均エネルギーを算出する。条件情報には、発生源の管電圧、対象物Fに関する情報、対象物Fの撮像に用いるカメラが備えるフィルタの情報、カメラが備えるシンチレータの情報、X線発生源が備えるフィルタの情報のいずれか1つが少なくとも含まれる。具体的には、算出部202は、入力部201によって入力を受け付けられた条件情報を基に、画像取得装置1を用いて対象物Fを透過させてX線検出カメラ10によって検出させるX線の平均エネルギーの値を算出する。例えば、算出部202は、条件情報に含まれる、管電圧、ターゲット角度、ターゲットの材料、フィルタ51, 19の材質及び厚さ及びその有無、X線検出カメラ10の窓材の種類及びその有無、

X線検出カメラ10のシンチレータ11の材料及び厚さ、等の情報に基づいて、X線検出カメラ10で検出されるX線のスペクトルを、例えば公知のT u c k e r等の近似式を用いて算出する。そして、算出部202は、X線のスペクトルから、スペクトル強度積分値と光子数積分値とをさらに算出し、スペクトル強度積分値を光子数積分値で除することによりX線の平均エネルギーの値を算出する。

[0031] 公知のT u c k e rの近似式を用いた算出方法について記載する。例えば、算出部202は、ターゲットをタングステン、ターゲット角度を25°と特定すると、 E_m ：電子ターゲット衝突時の運動エネルギー、 T ：ターゲット中の電子運動エネルギー、 A ：ターゲット物質の原子番号で決まる比例定数、 ρ ：ターゲットの密度、 $\mu(E)$ ：ターゲット物質の線減弱係数、 B ：緩やかに変化する Z と T の関数、 C ：Thomson-Whiddington定数、 θ ：ターゲット角度、 c ：真空中の光速度、を決定することができる。さらに、算出部202は、それらを基に下記式(1)を計算することにより、照射X線スペクトルが算出できる。

[0032] [数1]

$$\varphi(E) = A \cdot \int_E^{E_m} \left(\frac{T + m_0 c^2}{T} \right) \cdot B \cdot \left(\frac{1}{\rho} \frac{dT}{dx} \right)^{-1} \exp \left\{ -\mu(E) \frac{(E_m^2 - T^2)}{\rho C \sin(\theta + \varphi)} \right\} dT \quad (1)$$

なお、 E_m は管電圧の情報から決定でき、 A 、 ρ 、 $\mu(E)$ は、対象物Fの材料の情報から決定でき、 θ は対象物Fの角度の情報から決定できる。

[0033] 次に、算出部202は、フィルタ及び対象物Fを透過してシンチレータに吸収されるX線エネルギースペクトルを下記式(2)のX線の減弱式を用いて算出できる。

[0034] [数2]

$$I = I_0 e^{-\mu x} \quad (2)$$

ここで、 μ は対象物F、フィルタ、シンチレータ等の減弱係数、 x は対象物F、フィルタ、シンチレータ等の厚さである。 μ は対象物F、フィルタ、及びシンチレータの材質の情報から決定でき、 x は対象物F、フィルタ、及びシンチレータの厚さの情報から決定できる。X線光子数スペクトルは、このX線エネルギースペクトルを各X線のエネルギーで除することで求まる。算出部202は、X線の平均エネルギーを、エネルギー強度の積分値を光子数の積分値で除することにより、下記式(3)を用いて算出する。

平均エネルギー E =スペクトル強度積分値/光子数積分値 … (3)

上記の計算過程により、算出部202は、X線の平均エネルギーを算出する。なお、X線スペクトルの算出に関しては、公知のKramersや、Birchらによる近似式を使用してもよい。

[0035] 画像取得部203は、対象物Fに放射線が照射され、対象物Fを透過した放射線が撮像された放射線画像を取得する。具体的には、画像取得部203は、X線検出カメラ10（より詳細には、出力インターフェース17）から出力されたデジタル信号（増幅信号）に基づいてX線画像を生成する。画像取得部203は、出力インターフェース17から出力された複数ライン分のデジタル信号を基に1つのX線画像を生成する。図5は、画像取得部203が取得したX線画像の一例を示す図である。

[0036] ノイズマップ生成部204は、画素値とノイズ値の広がり进行评估した評価値との関係を表す関係データに基づいて、放射線画像の各画素の画素値から評価値を導出し、放射線画像の各画素に導出した評価値を対応付けたデータであるノイズマップを生成する。このとき、ノイズマップ生成部204は、対象物Fを透過した放射線に関する平均エネルギー、及び、放射線画像の各画素の画素値から、評価値を導出する。具体的には、ノイズマップ生成部204は、画素値とノイズ値の標準偏差（ノイズ値の広がり进行评估した評価値）との関係式（関係データ）を用いて、算出部202によって算出されたX線の平均エネルギー、及び画像取得部203によって取得されたX線画像（放射線画像）の各画素の画素値からノイズ値の標準偏差を導出する。ノイズ

マップ生成部204は、X線画像の各画素に、導出したノイズ値の標準偏差を対応付けることにより、ノイズ標準偏差マップ（ノイズマップ）を生成する。

[0037] ノイズマップ生成部204によって使用される画素値及び平均エネルギーとノイズ値の標準偏差との関係式は、下記式(4)で表される。

[0038] [数3]

$$Noise = \sqrt{\left(FMCQ \sqrt{\frac{cf}{E_m M_E C Q}} \cdot Signal \right)^2 + (\sqrt{D})^2 + (R)^2} \quad (4)$$

上記式(4)中、変数Noiseはノイズ値の標準偏差、変数Signalは画素の信号値（画素値）、定数Fはノイズファクター（Noise Factor）、定数Mはシンチレータによる増倍率、定数Cは、X線検出カメラ10においてスキャンカメラ12とシンチレータ11とのカップリング効率（Coupling Efficiency）、定数Qはスキャンカメラ12の量子効率（Quantum Efficiency）、定数cfはスキャンカメラ12において画素の信号値を電荷に変換する変換係数、変数EmはX線の平均エネルギー、定数Dは、イメージセンサにおいて熱雑音によって発生した暗電流ノイズ、定数Rはスキャンカメラ12における読み出しノイズ、をそれぞれ表す情報である。上記式(4)が使用される際、ノイズマップ生成部204により、変数Signalには画像取得部203によって取得されたX線画像の各画素の画素値が代入され、変数Emには算出部202によって算出された平均エネルギーの数値が代入される。そして、ノイズマップ生成部204により、上記式(4)を用いて計算された変数Noiseが、ノイズ値の標準偏差の数値として得られる。なお、平均エネルギーを含むその他のパラメータは、入力部201によって入力を受け付けられることで取得されてもよいし、予め設定されていてもよい。

[0039] 図6は、ノイズマップ生成部204によるノイズ標準偏差マップの生成例を示す図である。ノイズマップ生成部204は、画素値とノイズ値の標準偏

差との関係式(4)を用いて、変数Signalに様々な画素値を代入して画素値と変数Noiseとの対応関係を取得することにより、画素値とノイズ値の標準偏差との対応関係を表す関係グラフG3を導出する。そして、ノイズマップ生成部204は、画像取得部203によって取得されたX線画像G1から、それぞれの画素位置と画素値との対応関係を表す関係データG2を導出する。さらに、ノイズマップ生成部204は、関係グラフG3の示す対応関係を、関係データG2における各画素値に適用することによって、X線画像における各画素位置の画素に対応したノイズ値の標準偏差を導出する。その結果、ノイズマップ生成部204は、導出したノイズの標準偏差を各画素位置に対応付け、それぞれの画素位置とノイズの標準偏差との対応関係を示す関係データG4を導出する。そして、ノイズマップ生成部204は、導出した関係データG4を基に、ノイズ標準偏差マップG5を生成する。

[0040] 処理部205は、放射線画像及びノイズマップを、予め機械学習によって構築された学習済みモデル207に入力し、放射線画像からノイズを除去する画像処理を実行する。すなわち、図7に示されるように、処理部205は、制御装置20内の内蔵メモリあるいは記憶媒体から、構築部206によって構築された学習済みモデル207(後述する)を取得する。処理部205は、画像取得部203によって取得されたX線画像G1、及びノイズマップ生成部204によって生成されたノイズ標準偏差マップG5を、学習済みモデル207に入力する。これにより、処理部205は、学習済みモデル207を利用してX線画像G1からノイズを除去する画像処理を実行させることにより出力画像G6を生成する。そして、処理部205は、生成した出力画像G6を表示装置30等へ出力する。

[0041] 構築部206は、放射線画像である訓練画像、画素値とノイズ値の標準偏差との関係式に基づいて訓練画像から生成されたノイズマップ、及び、訓練画像からノイズが除去されたデータであるノイズ除去画像データ、を訓練データとして用いて、訓練画像及びノイズマップを基にノイズ除去画像データを出力する学習済みモデル207を、機械学習によって構築する。構築部2

06は、構築した学習済みモデル207を、制御装置20内の内蔵メモリあるいは記憶媒体に記憶させる。機械学習には、教師あり学習、教師なし学習、強化学習があり、それらの学習の中には、深層学習（ディープラーニング）、ニューラルネットワーク学習などがある。第1実施形態では、ディープラーニングのアルゴリズムの一例として、Kai Zhangらの論文“Beyond a Gaussian Denoiser: Residual Learning of Deep CNN for Image Denoising”に記載された2次元の畳み込みニューラルネットワークが採用される。なお、学習済みモデル207は、構築部206によって構築される以外に、外部のコンピュータ等により生成されて制御装置20にダウンロードされてもよい。なお、機械学習に用いられる放射線画像は、既知の構造物を撮像した放射線画像、或いは当該放射線画像を再現した画像を含む。

[0042] 図8は、学習済みモデル207の構築に用いられる訓練データの1つである訓練画像の一例である。訓練画像としては、様々な厚さ、様々な材質、及び様々な解像度のパターンを撮像対象にしたX線画像が用いられうる。図8に示す例は、鶏肉を対象に生成された訓練画像G7である。該訓練画像G7は、実際に画像取得装置1を用いて複数種類の既知の構造物を対象に生成されたX線画像を用いてもよいし、シミュレーション計算によって生成された画像を用いてもよい。X線画像については、画像取得装置1とは異なる装置を用いて取得したものでかまわない。

[0043] 構築部206は、機械学習を行うための前処理として、画素値とノイズ値の広がり进行评估した評価値との関係を表す関係データに基づいて、放射線画像の各画素の画素値から評価値を導出し、放射線画像の各画素に導出した評価値を対応付けたデータであるノイズマップを生成する。具体的には、構築部206は、学習済みモデル207を構築する際に、実際の撮像あるいはシミュレーション計算等により生成された訓練画像を、画像取得部203等から取得する。そして、構築部206は、例えば、画像取得装置1のX線照射器50の動作条件あるいは画像取得装置1の撮像条件等を設定する。あるいは、構築部206は、シミュレーション計算時のX線照射器50の動作条件

あるいは撮像条件を設定する。構築部206は、算出部202と同様の手法を用いて、X線の平均エネルギーを、上記の動作条件あるいは撮像条件を基に計算する。さらに、構築部206は、図6に示したようなノイズマップ生成部204による手法と同様の手法を用いて、X線の平均エネルギー及び該訓練画像を基に、ノイズ標準偏差マップを生成する。つまり、機械学習方法の前処理方法は、画素値とノイズ値の広がり进行评估した評価値との関係を表す関係データに基づいて、放射線画像の各画素の画素値から評価値を導出し、放射線画像の各画素に導出した評価値を対応付けたデータであるノイズマップを生成するノイズマップ生成ステップを備える。

[0044] 構築部206は、訓練画像、該訓練画像から生成したノイズマップ、及び訓練画像から予めノイズが除去されたデータであるノイズ除去画像データを訓練データとして用いて、学習済みモデル207を機械学習によって構築する。具体的には、構築部206は、該訓練画像からノイズが除去されたノイズ除去画像データを予め取得する。構築部206は、訓練画像がシミュレーション計算によって生成されたX線画像である場合、訓練画像の生成過程においてノイズが付加される前の画像を、ノイズ除去画像データとする。一方、構築部206は、訓練画像が、実際に画像取得装置1を用いて複数種類の既知の構造物を対象に生成されたX線画像である場合、X線画像から平均値フィルタ、或いはメディアンフィルタ、バイラテラルフィルタ、NLMフィルタなどの画像処理を用いてノイズ除去された画像をノイズ除去画像データとする。構築部206は、該訓練画像及びノイズ標準偏差マップを基にノイズ除去画像データを出力する学習済みモデル207を、機械学習によるトレーニングを実行して構築する。

[0045] 図9は、構築部206による学習済みモデル207の構築に用いられる教師データ（訓練データ）である画像データの作成手順を示すフローチャートである。

[0046] 教師データである画像データ（教師画像データともいう。）はコンピュータによって次の手順で作成される。まず、所定の構造をもつ構造体の画像（

構造体画像)を作成する(ステップS301)。例えば、シミュレーション計算により、所定の構造を持つ構造体の画像を作成してもよい。また、所定の構造をもつチャートなどの構造体のX線画像を取得して構造体画像を作成してもよい。次に、この構造体画像を構成する複数の画素のうちから選択した一の画素について、画素値の標準偏差であるシグマ値を算出する(ステップS302)。そして、ステップS302で求めたシグマ値に基づいてノイズ分布を示す正規分布(ポアソン分布)を設定する(ステップS303)。このように、シグマ値に基づいて正規分布を設定することで様々なノイズ条件の教師データを生成することができる。続いて、ステップS303でシグマ値に基づいて設定された正規分布に沿って、ランダムに設定されたノイズ値を算出する(ステップS304)。さらに、一の画素の画素値にステップS304で求めたノイズ値を付加することで、教師データである画像データを構成する画素値を生成する(ステップS305)。ステップS302～ステップS305までの処理を、構造体画像を構成する複数の画素それぞれに対して行い(ステップS306)、教師データとなる教師画像データを生成する(ステップS307)。また、教師画像データがさらに必要な場合は、ステップS301～ステップS307までの処理を、別の構造体画像に対して行うことを判断し(ステップS308)、教師データとなる別の教師画像データを生成する。なお、別の構造体画像は、同じ構造を持つ構造体の画像であってもよいし、別の構造を持つ構造体の画像であってもよい。

[0047] なお、学習済みモデル207の構築に用いられる教師データである画像データは多数用意する必要がある。また、構造体画像は、ノイズが少ない画像がよく、理想的には、ノイズがない画像がよい。そのため、シミュレーション計算によって構造体画像を生成すると、ノイズがない画像を数多く生成することができるので、シミュレーション計算によって、構造体画像を生成することは効果的である。

[0048] 次に、第1実施形態に係る画像取得装置1を用いた対象物FのX線透過像の観察処理の手順、すなわち、第1実施形態に係る放射線画像取得方法の流

れについて説明する。図10は、画像取得装置1による観察処理の手順を示すフローチャートである。

[0049] まず、構築部206によって、訓練画像、関係式に基づいて訓練画像から生成されたノイズ標準偏差マップ、及びノイズ除去画像データ、を訓練データとして用いて、訓練画像及びノイズ標準偏差マップを基にノイズ除去画像データを出力する学習済みモデル207が、機械学習によって構築される。

(ステップS100)。次に、入力部201によって、画像取得装置1のオペレータ(ユーザ)から、X線照射器50の動作条件あるいはX線検出カメラ10による撮像条件等を示す条件情報の入力を受け付けられる(ステップS101)。そして、算出部202によって、条件情報を基に、X線検出カメラ10によって検出されるX線の平均エネルギーの値が算出される(ステップS102)。

[0050] 続いて、画像取得装置1において対象物Fがセットされて対象物Fが撮像され、制御装置20によって、対象物FのX線画像が取得される(ステップS103)。さらに、制御装置20によって、画素値とノイズ値の標準偏差との関係式に基づいて、X線の平均エネルギー及びX線画像の各画素の画素値からノイズ値の標準偏差が導出され、導出されたノイズの標準偏差が各画素値に対応付けられることにより、ノイズ標準偏差マップが生成される(ステップS104)。

[0051] 次に、処理部205によって、予め構築され記憶された学習済みモデル207に、対象物FのX線画像及びノイズ標準偏差マップが入力され、X線画像を対象にノイズ除去処理が実行される(ステップS105)。さらに、処理部205によって、ノイズ除去処理が施されたX線画像である出力画像が、表示装置30に出力される。(ステップS106)。

[0052] 以上説明した画像取得装置1によれば、対象物Fを透過したX線に応じたシンチレーション光が、対象物Fのスキャンの方向TDに配列されたM個の画素72を有する画素ライン74がN列で配列されたスキャンカメラ12によって検出され、画素ライン74毎に出力されたM個の画素72の検出信号

のうちの少なくとも2個の画素72の検出信号が加算され、加算されたN個の検出信号が順次出力されることにより、X線画像が出力される。加えて、出力されたX線画像を、予め画像データを用いた機械学習により構築された学習済みモデル207に入力させることにより、そのX線画像に対してノイズ除去処理が施される。これにより、X線画像において信号成分を大きくしつつノイズ成分を除去することができ、X線画像におけるS/N比を効果的に向上させることができる。具体的には、学習済みモデル207を用いたノイズ除去処理を施した場合は、ノイズ除去処理を施さない場合に比較して、CNR (Contrast to Noise Ratio) が約6.4倍に改善され、バイラテラルフィルタによるノイズ除去処理によるCNRの約1.9倍の改善効果に比較しても改善効果が大きいことが分かった。

[0053] また、画像取得装置1においては、学習済みモデル207は、所定の構造体のX線画像に対し正規分布に沿ったノイズ値を付加して得られた画像データを教師データとした機械学習によって構築される。これにより、学習済みモデル207の構築に用いられる教師データである画像データを用意することが容易となり、学習済みモデル207を効率的に構築することができる。

[0054] また、画像取得装置1によれば、画素値とノイズ値の標準偏差の関係式を用いて、X線画像の各画像の画素値からノイズ値の標準偏差が導出され、X線画像の各画素に導出したノイズ値の標準偏差を対応付けたデータであるノイズ標準偏差マップが生成される。そして、X線画像及びノイズ標準偏差マップが、予め機械学習によって構築された学習済みモデル207に入力され、X線画像からノイズを除去する画像処理が実行される。かかる構成によれば、X線画像の各画素の画素値から導出されるノイズ値の標準偏差が考慮されて、該X線画像の各画素におけるノイズが機械学習により除去される。これにより、学習済みモデル207を用いて、X線画像における画素値とノイズ値の標準偏差との関係に対応したノイズ除去が実現できる。その結果、X線画像におけるノイズを効果的に除去できる。

[0055] 特に、X線画像は、管電圧、フィルタ、シンチレータ、X線検出カメラの

条件（ゲイン設定値、回路ノイズ値、飽和電荷量、変換係数値（ e^-/count ）、カメラのラインレート）、対象物等の違いによってノイズの態様が変化する。そのため、機械学習によってノイズ除去を実現しようとする場合、様々な条件で学習させた学習モデルを用意しておくことが考えられる。つまり、比較例として、X線画像の測定時の条件に合わせて複数の学習モデルを構築し、条件ごとに学習モデルを選択し、ノイズ除去処理が実行する手法も採りうる。このような比較例の場合、例えば、X線の平均エネルギー、X線検出カメラのゲイン、及びX線カメラの種類などのノイズ条件ごとに、学習モデルを構築しなければならず、膨大な数の学習モデルを生成する必要がある、構築のための多くの時間を要する場合がある。一例として、X線の平均エネルギーが10通り、X線検出カメラのゲインが8通り、製品の種類が3種類であるとき、240個の学習済みモデルが必要になるが、学習済みモデルの構築に1モデルにつき1日を要する場合、機械学習のために、240日もの時間がかかってしまう。この点、本実施形態によれば、X線画像からノイズマップを生成し、当該ノイズマップを機械学習の入力データとすることで、学習済みモデルの生成が必要なノイズ条件を低減することができ、学習済みモデル207を構築するための学習時間が大きく低減される。

[0056] [第1実施形態の制御装置20の変形例]

[0057] 図11は、第1実施形態の変形例における制御装置20Aの機能構成を示すブロック図である。制御装置20Aは、上述した第1実施形態に比較して、算出部202AにおいてX線画像の画素値からX線の平均エネルギーを導出する機能を有する点、及びノイズマップ生成部204AにおいてX線画像の画素値及び該X線画像から導出されたX線の平均エネルギーに基づいて、ノイズ標準偏差マップを導出する機能を有する点が異なる。図12は、図11の制御装置20Aを含む画像取得装置1による観察処理の手順を示すフローチャートである。図12に示されるように、制御装置20Aにおいては、図10に示す第1実施形態に係る制御装置20のステップS103に示す処理が、ステップS100の直後に行われる。そして、制御装置20Aにおい

ては、S102A、S104Aに示す処理が、制御装置20のステップS102、S104の処理に置き換えて実行される。

[0058] 算出部202Aは、放射線画像の各画素の画素値から平均エネルギーを算出する（ステップS102A）。具体的には、算出部202Aは、X線スペクトルのシミュレーション計算等により、条件情報ごとに画素値と平均エネルギーの関係を予め導出する。算出部202Aは、入力部201によって取得された管電圧、及びX線検出カメラ10が備えるシンチレータの情報を少なくとも含む条件情報を取得する。そして、算出部202Aは、該条件情報を基に、予め導出しておいた画素値と平均エネルギーの関係の中から、該条件情報に対応する関係を選択する。さらに、算出部202Aは、選択した関係に基づいて、画像取得部203によって取得されたX線画像の各画素の画素値から、画素毎の平均エネルギーを導出する。

[0059] 以下、算出部202Aによる、該条件情報ごとの画素値と平均エネルギーの関係の導出について図13～図17を用いて説明する。

[0060] 最初に、算出部202Aは、条件情報を基に、対象物Fの厚さとX線の透過率との関係を表すグラフG18、及び対象物Fの厚さとX線の平均エネルギーとの関係を表すグラフG19を導出する。具体的には、図13の(a)部～(d)部に示すように、算出部202Aは、管電圧及びX線検出カメラ10が備えるシンチレータの情報を少なくとも含む条件情報を基に、対象物Fの厚さを様々に変更した場合に透過するX線のエネルギースペクトルG14～G17を、シミュレーション計算により算出する。図13は、算出部202Aによる対象物Fを透過したX線のエネルギースペクトルのシミュレーション計算結果の一例を示すグラフである。ここでは、水によって構成される対象物Fの厚さを段階的に増加させてシミュレーション計算を行った場合の透過X線のエネルギースペクトルG14～G17が例示されている。さらに、算出部202Aは、算出したエネルギースペクトルG14～G17を基に、対象物Fの厚さを様々に変更した場合に透過するX線の平均エネルギーを算出する。なお、算出部202Aは、シミュレーション計算以外に、厚さ

が既知の構造物を対象に撮像することにより得られたX線画像を基に、対象物Fの厚さと平均エネルギーの関係が得られてもよい。

[0061] さらに、算出部202Aは、上記のシミュレーション結果を基に、対象物Fの厚さとX線の透過率との関係も導出する。図14は、算出部202Aによって導出された、対象物Fの厚さと平均エネルギー及び透過率との関係の一例を示す図表である。図14に示されるように、対象物Fの厚さ毎に算出されたエネルギースペクトルG14～G17のそれぞれに対応して、透過X線の平均エネルギー及びX線の透過率が導出される。

[0062] 続いて、算出部202Aは、様々な厚さの対象物Fに対して導出したX線の透過率から、対象物Fの厚さとX線の透過率との関係を示すグラフG18を導出する。図15は、算出部202Aによって導出された、対象物Fの厚さと対象物Fに対するX線の透過率との関係を示すグラフである。加えて、算出部202Aは、様々な厚さの対象物Fに対して導出したX線の平均エネルギーから、対象物Fの厚さとX線の平均エネルギーとの関係を示すグラフG19を導出する。図16は、算出部202Aによって導出された、対象物Fの厚さと、対象物Fを透過するX線の平均エネルギーとの関係を示すグラフである。

[0063] そして、算出部202Aは、様々な条件情報ごとに導出した2つのグラフG18、G19に基づいて、図17に示されるようなX線画像の画素値と平均エネルギーとの関係を示すグラフG20を、様々な条件情報ごとに導出する。図17は、算出部202Aによって導出されたX線画像の画素値と平均エネルギーとの関係を示すグラフである。具体的には、算出部202Aは、条件情報を基に、対象物Fが存在しない場合のX線画透過像の画素値 I_0 を導出する。そして、算出部202Aは、対象物Fが存在する場合のX線画像の画素値 I を設定し、X線の透過率である I/I_0 を計算する。さらに、算出部202Aは、対象物Fの厚さと対象物Fに対するX線の透過率とのグラフG18に基づいて、計算したX線の透過率である I/I_0 から、対象物Fの厚さを導出する。最後に、算出部202Aは、導出した対象物Fの厚さと、対象

物Fの厚さと透過X線の平均エネルギーとのグラフG19とに基づいて、その厚さに対応する透過X線の平均エネルギーを導出する。続いて、算出部202Aは、上記の導出を、X線画像の画素値Iを様々に変化させながら、様々な条件情報ごとに行うことにより、X線画像の画素値と透過X線の平均エネルギーとの関係を示すグラフG20を、条件情報ごとに導出する。

[0064] ここで、算出部202Aによる画素値を基にした平均エネルギーの導出例について説明する。例えば、算出部202Aが、条件情報を基に対象物Fが存在しない場合のX線画透過像の画素値を $I_0 = 5000$ と導出し、対象物Fが存在する場合のX線画像の画素値が $I = 500$ であると設定した場合を想定する。この場合、算出部202Aは、X線の透過率を $I / I_0 = 0.1$ であると計算する。続いて、算出部202Aは、対象物Fの厚さと対象物Fに対するX線の透過率との関係を示すグラフG18に基づいて、X線の透過率0.1に対応する厚さが30mmであると導出する。さらに、算出部202Aは、対象物Fの厚さと透過X線の平均エネルギーとの関係を示すグラフG19に基づいて、画素値500に対応する平均エネルギーが27keVであると導出する。最後に、算出部202Aは、各画素値ごとにX線の平均エネルギーの導出を繰り返し、X線画像の画素値と平均エネルギーとの関係を示すグラフG20を導出する。

[0065] さらに、算出部202Aは、以上の手順で予め導出した複数のグラフG20の中から、入力部201によって取得された条件情報に対応するグラフG20を選択する。算出部202Aは、選択したグラフG20に基づいて、画像取得部203によって取得されたX線画像の各画素の画素値に対応する透過X線の平均エネルギーを導出する。

[0066] なお、算出部202Aは、予め条件情報ごとに画素値とX線の平均エネルギーの関係を示すグラフG20を導出するのではなく、入力部201によって取得された条件情報とX線画像の各画素の画素値とから、グラフG18、G19を参照してX線の平均エネルギーを導出してもよい。具体的には、算出部202Aは、条件情報を基に対象物が存在しない場合のX線画像の画素値 I_0 を導出する。そ

して、算出部202Aは、画像取得部203によって取得されたX線画像の各画素の画素値1ごとに画素値1₀に対する比率を求めることにより、透過率を計算する。さらに、算出部202Aはし、厚さとX線の透過率との関係を示すグラフG18と、計算した透過率とに基づいて厚さを導出する。そして、算出部202Aは、厚さと平均エネルギーとの関係を示すグラフG19と、導出した厚さとに基づいて平均エネルギーを導出することで、X線画像の各画素の画素値ごとに平均エネルギーを導出する。

[0067] ノイズマップ生成部204Aは、画像取得部203によって取得されたX線画像、及び算出部202Aによって導出された該X線画像の各画素に対応するX線の平均エネルギーから、ノイズ標準偏差マップを生成する（ステップS104A）。具体的には、ノイズマップ生成部204Aは、画像取得部203によって取得されたX線画像の各画素の画素値、及び算出部202Aによって各画素ごとに導出された平均エネルギーを、関係式（4）に代入することで、対象物の厚さを考慮した各画素ごとのノイズ値の標準偏差を導出する。ノイズマップ生成部204Aは、X線画像の各画素に対応したノイズ値の標準偏差を、ノイズ標準偏差マップとして生成する。

[0068] 図18は、画素値とノイズ値の標準偏差との関係の一例を表すグラフである。このグラフは、本変形例に係る算出部202A及びノイズマップ生成部204Aによって、X線画像の画素値から導出されたノイズ値の標準偏差と、X線画像の画素値との関係を示している。本変形例では、対象物の厚さを考慮してノイズ値の標準偏差が導出されるため、画素値が増加するほど対象物の厚さが小さくなり、画素における平均エネルギーが低下する。したがって、関係式（4）からも推定されるように、第1実施形態と本変形例とは、画素値が増大したときのノイズ値の標準偏差の変化が異なる。図18に示される例では、本変形例のグラフG22は、第1実施形態のグラフG21より画素値が増大したときのノイズ値の標準偏差の増大の度合いが小さい。

[0069] 第1実施形態の変形例の制御装置20Aでは、X線画像の各画素の画素値から平均エネルギーが計算される。ここで、例えば、X線画像中に厚さや材

質の異なる複数の対象物が存在する場合、対象物ごとに平均エネルギーが大きく異なり、X線画像から十分にノイズを除去できない。かかる構成によれば、対象物Fを透過するX線の平均エネルギーが、X線画像の各画素の画素値ごとに計算されるため、例えば、厚さや材質の違い等を考慮し、X線画像の各画素の画素値とノイズとの関係に対応したノイズ除去を実現できる。その結果、X線画像におけるノイズを効果的に除去できる。

[0070] なお、本変形例に係る制御装置20Aは、様々な条件情報ごとに導出したグラフG20を用いてX線画像の画素値から平均エネルギーを導出している。このとき、対象物Fの材質の違いは無視して画素値から平均エネルギーを導出してもよい。図19は、算出部202Aによって導出されたX線画像の画素値とノイズ値の標準偏差との関係を示すグラフである。ここでは、対象物Fの材質の変化も条件情報として考慮に入れて関係を導出しており、グラフG24は、材質がアルミニウムの場合、グラフG23は材質がPET (Polyethylene terephthalate) の場合、グラフG25は材質が銅の場合の導出例を示している。このように、対象物Fの材質が変化した場合でも、X線照射器50の管電圧及び対象物Fの撮像に用いるX線検出カメラ10が備えるシンチレータの情報が同一であれば、画素値と透過X線の平均エネルギーとの関係は大きく変化しないため、画素値とノイズ値の標準偏差との関係も大きく変化しない。このような性質を考慮して、制御装置20Aは、条件情報としての対象物Fの材質の違いは無視して、X線画像の画素値から平均エネルギーを導出することができる。このような場合でも、本変形例の制御装置20Aによれば、画素値とノイズの標準偏差との関係に対応したノイズ除去が実現できる。その結果、X線画像におけるノイズをさらに効果的に除去できる。

[0071] [第1実施形態の制御装置20の別の変形例]

[0072] 図20は、第1実施形態の別の変形例にかかる制御装置20Bの機能構成を示すブロック図である。制御装置20Bは、上述した第1実施形態に比較して、画像取得部203Bにおいて、治具のX線画像を取得する機能を有す

る点、及びノイズマップ生成部204Bにおいて、治具のX線画像から画素値とノイズ値の標準偏差との関係を示すグラフを導出する機能を有する点が異なる。図21は、図20の制御装置20Bを含む画像取得装置1による観察処理の手順を示すフローチャートである。図21に示されるように、本変形例に係る制御装置20Bにおいては、ステップS201、S202に示す処理が、図10に示す第1実施形態にかかる制御装置20によるステップS101、S102及びS104の処理に置き換えて実行される。

[0073] 画像取得部203Bは、治具に放射線が照射され、治具を透過した放射線が撮像された治具の放射線画像を取得する（ステップS201）。具体的には、画像取得部203Bは、画像取得装置1を用いて治具及び対象物Fを対象にX線を照射して撮像したX線画像を取得する。治具としては、厚さ及び材質が既知である平板状部材等が用いられる。すなわち、画像取得部203Bは、対象物Fの観察処理に先立って画像取得装置1を用いて撮像された治具のX線画像を取得する。そして、画像取得部203Bは、画像取得装置1を用いて撮像された対象物FのX線画像を取得する。ただし、治具及び対象物FのX線画像の取得タイミングは上記には限定されず、同時であってもよいし逆のタイミングであってもよい（ステップS103）。また、画像取得部203Bは、画像取得部203と同様に、対象物FにX線が照射され、対象物Fを透過したX線が撮像されたX線画像を取得する。

[0074] 画像取得装置1において治具がセットされて治具が撮像され、ノイズマップ生成部204Bは、その結果得られる治具の放射線画像から、画素値とノイズ値の広がり进行评估した評価値との関係を表す関係データを導出する（ステップS202）。具体的には、ノイズマップ生成部204Bは、治具のX線画像から、画素値とノイズ値の標準偏差との関係を表すノイズ標準偏差マップを導出する。

[0075] 図22は、ノイズマップ生成部204Bによるノイズ標準偏差マップの生成例を示す図である。ノイズマップ生成部204Bは、治具のX線画像G26から、画素値とノイズ値の標準偏差との対応関係を表す関係グラフG27

を導出する。そして、ノイズマップ生成部204Bは、第1実施形態と同様に、画像取得部203Bによって取得されたX線画像G1から、それぞれの画素位置と画素値との対応関係を表す関係データG2を導出する。さらに、ノイズマップ生成部204は、関係グラフG27の示す対応関係を、関係データG2における各画素に適用することによって、X線画像における各画素位置の画素に対応したノイズ値の標準偏差を導出する。その結果、ノイズマップ生成部204は、導出したノイズの標準偏差を各画素位置に対応付け、それぞれの画素位置とノイズの標準偏差との対応関係を示す関係データG4を導出する。そして、ノイズマップ生成部204は、導出した関係データG4を基に、ノイズ標準偏差マップG5を生成する。

[0076] ノイズマップ生成部204Bによる、治具のX線画像G26からの、画素値とノイズ値の標準偏差との関係を表す関係グラフG27の導出について説明する。図23には、本変形例における撮像に用いられる治具の構造の一例を示している。治具には、例えば、厚さが一方向にステップ状に変化する部材P1が用いられうる。図24は、図23の治具のX線画像の一例を示している。まず、ノイズマップ生成部204Bは、治具のX線画像G26において、治具のステップごとにノイズがない場合の画素値（以下、真の画素値と表記する）を導出し、真の画素値に基づいてノイズ値の標準偏差を導出する。具体的には、ノイズマップ生成部204Bは、治具のあるステップにおける画素値の平均値を導出する。そして、ノイズマップ生成部204Bは、導出した画素値の平均値を、そのステップにおける真の画素値とする。ノイズマップ生成部204Bは、そのステップにおいて、各画素値と真の画素値との差をノイズ値として導出する。ノイズマップ生成部204Bは、導出した画素値ごとのノイズ値から、ノイズ値の標準偏差を導出する。

[0077] そして、ノイズマップ生成部204Bは、真の画素値とノイズ値の標準偏差との関係を、画素値とノイズ値の標準偏差との関係グラフG27として導出する。具体的には、ノイズマップ生成部204Bは、治具のステップごとに、真の画素値、及びノイズ値の標準偏差を導出する。ノイズマップ生成部

204Bは、導出した真の画素値とノイズ値の標準偏差との関係をグラフにプロットして、近似曲線を引くことにより、画素値とノイズ値の標準偏差との関係を表す関係グラフG27を導出する。なお、近似曲線については、指数近似、或いは線形近似、対数近似、多項式近似、累乗近似などを使用する。

[0078] 本変形例にかかる制御装置20Bでは、実際の治具を撮像して得られる放射線画像を基に関係データが生成される。これにより、対象物Fの放射線画像のノイズ除去に最適な関係データが得られる。その結果、放射線画像におけるノイズをより効果的に除去できる。

[0079] なお、ノイズマップ生成部204Bは、治具を用いずに、対象物がない状態で管電流あるいは露光時間を変更した場合の撮像画像から、画素値とノイズ値の標準偏差との関係を導出してもよい。かかる構成によれば、実際に撮像して得られる放射線画像を基に関係データが生成され、ノイズマップが生成されるため、画素値とノイズの広がりとの関係に対応したノイズ除去が実現できる。その結果、放射線画像におけるノイズをより効果的に除去できる。

[0080] 具体的には、画像取得部203Bは、対象物がない状態で撮像された複数の放射線画像を取得し（ステップS201）、ノイズマップ生成部204Bは、画像取得部203Bによって取得された放射線画像から、画素値とノイズ値の標準偏差との関係を導出してもよい（ステップS202）。複数の放射線画像は、放射線の発生源の条件あるいは撮像条件の少なくとも一方の条件が互いに異なる複数の画像である。一例としては、画像取得部203Bは、管電流あるいは露光時間に変更されつつ、対象物Fの観察処理に先立って対象物Fがない状態で画像取得装置1を用いて撮像された複数のX線画像を取得する。そして、ノイズマップ生成部204Bは、X線画像ごとに真の画素値を導出し、本変形例と同様にして、真の画素値に基づいてノイズの標準偏差を導出する。さらに、ノイズマップ生成部204Bは、本変形例と同様にして、真の画素値とノイズの標準偏差との関係をグラフにプロットして近

似曲線を引くことにより、画素値とノイズ値の標準偏差との関係を表す関係グラフを導出する。最後に、ノイズマップ生成部204Bは、第1実施形態と同様にして、導出した関係グラフを基に、画像取得部203Bによって取得されたX線画像からノイズ標準偏差マップを生成する。

[0081] [第2実施形態]

図25は、第2実施形態に係る制御装置20Cの機能構成を示すブロック図である。制御装置20Cは、入力部201C、算出部202C、絞込部203C、選択部204C、及び処理部205Cを備える。

[0082] また、制御装置20Cには、X線透過画像を対象にノイズ除去処理を実行させる学習済みモデル206Cが予め複数格納されている。複数の学習済みモデル206Cは、それぞれ、画像データを教師データとして予め構築された機械学習による学習モデルである。機械学習には、教師あり学習、深層学習（ディープラーニング）、或いは強化学習、ニューラルネットワーク学習などがある。本実施形態では、ディープラーニングのアルゴリズムの一例として、Kai Zhangらの論文“Beyond a Gaussian Denoiser: Residual Learning of Deep CNN for Image Denoising”に記載された2次元の畳み込みニューラルネットワークが採用される。複数の学習済みモデル206Cは、外部のコンピュータ等により生成されて制御装置20Cにダウンロードされてもよいし、制御装置20C内で生成されてもよい。

[0083] 図26には、学習済みモデル206Cの構築に用いられる教師データである画像データの一例を示す。教師データとしては、様々な厚さ、様々な材質、及び様々な解像度のパターンを撮像対象にしたX線透過画像が用いられる。図26に示す例は、鶏肉を対象に生成されたX線透過画像の例である。この画像データは、実際に画像取得装置1を用いて複数種類の対象物を対象に生成されたX線透過画像を用いてもよいし、シミュレーション計算によって生成された画像データを用いてもよい。X線透過画像については、画像取得装置1とは異なる装置を用いて取得したものでもかまわない。また、X線透過画像とシミュレーション計算によって生成された画像データを組み合わ

せて用いてもよい。複数の学習済みモデル206Cは、それぞれ、平均エネルギーが異なる透過X線を対象に得られた画像データであって、ノイズ分布が既知の画像データを用いて予め構築されている。画像データにおけるX線の平均エネルギーは、それぞれ、画像取得装置1のX線照射器（放射線発生源）50の動作条件あるいは画像取得装置1の撮像条件等を設定することにより、あるいはシミュレーション計算時のX線照射器50の動作条件あるいは撮像条件を設定することにより、予め異なる値に設定されている（動作条件あるいは撮像条件による平均エネルギーの設定方法については後述する。）。つまり、複数の学習済みモデル206Cは、対象物FのX線透過画像を撮像する際のX線照射器（放射線発生源）50の動作条件、あるいは、X線検出カメラ10による撮像条件等を示す条件情報を基に算出された対象物Fを透過したX線に関する平均エネルギーに対応するX線画像である訓練画像を訓練データとして用いて、機械学習によって構築される（構築ステップ）。例えば、本実施形態では、複数の学習済みモデル206Cは、それぞれ、平均エネルギーが、10keV、20keV、30keV、…と10keV刻みの値が設定された複数種類の画像データを複数フレーム（例えば、20,000フレーム）用いて構築されている。

[0084] 学習済みモデル206Cの構築に用いられる教師データである画像データは、上述した第1実施形態における作成手順と同様な作成手順によって生成される。

[0085] 以下、図25に戻って、制御装置20Cの各機能部の機能の詳細について説明する。

[0086] 入力部201Cは、対象物FのX線透過画像を撮像する際のX線照射器（放射線発生源）50の動作条件、あるいは、X線検出カメラ10による撮像条件等を示す条件情報の入力を、画像取得装置1のユーザから受け付ける。動作条件としては、管電圧、ターゲット角度、ターゲットの材料等の中の全部又は一部が挙げられる。撮像条件を示す条件情報としては、X線照射器50とX線検出カメラ10との間に配置されるフィルタ51, 19（対象物

の撮像に用いるカメラが備えるフィルタ或いは発生源が備えるフィルタ)の材質及び厚さ、X線照射器50とX線検出カメラ10との距離(FDD)、X線検出カメラ10の窓材の種類、及び、X線検出カメラ10のシンチレータ11の材料及び厚さに関する情報、X線検出カメラ情報(例えば、ゲイン設定値、回路ノイズ値、飽和電荷量、変換係数値(電子数/count)、カメラのラインレート(Hz)もしくはラインスピード(m/min))、対象物の情報等のうちの全部又は一部が挙げられる。入力部201Cは、条件情報の入力、数値等の情報の直接入力として受け付けてもよいし、予め内部メモリに設定された数値等の情報に対する選択入力として受け付けてもよい。入力部201Cは、上記の条件情報の入力をユーザから受け付けるが、一部の条件情報(管電圧等)を、制御装置20Cによる制御状態の検出結果に応じて取得してもよい。

[0087] 算出部202Cは、入力部201Cによって受け付けられた条件情報を基に、画像取得装置1を用いて対象物Fを透過させてX線検出カメラ10によって検出させるX線(放射線)の平均エネルギーの値を算出する。例えば、算出部202Cは、条件情報に含まれる、管電圧、ターゲット角度、ターゲットの材料、フィルタの材質及び厚さ及びその有無、窓材の種類及びその有無、X線検出カメラ10のシンチレータ11の材料及び厚さ、等の情報に基づいて、X線検出カメラ10で検出されるX線のスペクトルを、例えば公知のT u c k e r等の近似式を用いて算出する。そして、算出部202Cは、X線のスペクトルから、スペクトル強度積分値と光子数積分値とをさらに算出し、スペクトル強度積分値を光子数積分値で除することによりX線の平均エネルギーの値を算出する。

[0088] 公知のT u c k e rの近似式を用いた算出方法について記載する。例えば、算出部202Cは、ターゲットをタングステン、ターゲット角度を 25° と特定すると、 E_m ：電子ターゲット衝突時の運動エネルギー、 T ：ターゲット中の電子運動エネルギー、 A ：ターゲット物質の原子番号で決まる比例定数、 ρ ：ターゲットの密度、 $\mu(E)$ ：ターゲット物質の線減弱係数、 B ：緩やかに変

化する Z と T の関数、 C : Thomson-Whiddington定数、 θ : ターゲット角度、 c : 真空中の光速度、を決定することができる。さらに、算出部202Cは、それらを基に上記の式(1)を計算することにより、照射X線スペクトルが算出できる。

[0089] 次に、算出部202Cは、フィルタ及び対象物Fを透過してシンチレータに吸収されるX線エネルギースペクトルを上記の式(2)のX線の減弱式を用いて算出できる。X線光子数スペクトルは、このX線エネルギースペクトルを各X線のエネルギーで除することで求まる。算出部202Cは、X線の平均エネルギーを、エネルギー強度の積分値を光子数の積分値で除することにより、上記の式(3)を用いて算出する。上記の計算過程により、算出部202Cは、X線の平均エネルギーを算出する。なお、X線スペクトルの算出に関しては、公知のKramersや、Birchらによる近似式を使用してもよい。

[0090] 絞込部203Cは、算出部202Cによって算出された平均エネルギーの値を基に、予め構築された複数の学習済みモデル206Cの中から、学習済みモデルの候補を絞り込む。すなわち、絞込部203Cは、算出された平均エネルギーの値と、複数の学習済みモデル206Cの構築に用いられた画像データにおけるX線の平均エネルギーの値とを比較し、平均エネルギーの値が近い画像データによって構築された複数の学習済みモデル206Cを候補として絞り込む。より具体的には、算出部202Cによって算出された平均エネルギーの値が53keVの場合には、絞込部203Cは、その値との差が所定の閾値(例えば15keV)未満である平均エネルギー値40keV、50keV、60keVの画像データによって構築された学習済みモデル206Cを、学習済みモデルの候補とする。

[0091] 選択部204Cは、絞込部203Cによって絞り込まれた候補の中から、最終的に対象物FのX線透過画像のノイズ除去処理に用いる学習済みモデル206Cを選択する。詳細には、選択部204Cは、画像取得装置1において治具を対象にX線を照射して撮像したX線透過画像を取得し、そのX線透過画像の画像特性に基づいて、最終的に用いる学習済みモデル206Cを選

択する。このとき、選択部204Cは、X線透過画像の画像特性として、エネルギー特性、ノイズ特性、あるいは、解像度特性等を解析し、その解析結果を基に学習済みモデル206Cを選択する。

[0092] より具体的には、選択部204Cは、治具として、厚さ及び材質が既知であり、X線の平均エネルギーとX線透過率との関係が既知である平板状部材を対象にX線透過画像を取得し、治具を透過したX線像の輝度と空気を透過したX線像の輝度とを比較して、治具における1点（あるいは複数点の平均）のX線の透過率を算出する。例えば、治具を透過したX線像の輝度が5,550であり、空気を透過したX線像の輝度が15,000の場合には、透過率37%と算出する。そして、選択部204Cは、透過率37%から推定される透過X線の平均エネルギー（例えば、50keV）を、治具のX線透過画像のエネルギー特性として特定する。選択部204Cは、特定した平均エネルギーの値に最も近い平均エネルギーの画像データによって構築された学習済みモデル206Cを一つ選択する。

[0093] また、選択部204Cは、治具のX線透過画像のエネルギー特性として、厚さあるいは材質が変化する治具の複数点における特性を解析してもよい。図27は、選択部204Cの解析対象のX線透過画像の一例を示す図である。図27は、厚さがステップ状に変化した形状の治具を対象にしたX線透過画像である。選択部204Cは、このようなX線透過画像から厚さの異なる複数の測定領域（ROI: Region Of Interest）を選択し、複数の測定領域ごとの輝度平均値を解析し、厚さ－輝度の特性グラフをエネルギー特性として取得する。図28には、選択部204Cが取得した厚さ－輝度の特性グラフの一例を示している。

[0094] さらに、選択部204Cは、同様にして、絞込部203Cによって絞り込まれた学習済みモデル206Cの構築に用いた画像データを対象に、厚さ－輝度の特性グラフを取得し、治具を対象に取得した特性グラフと最も近い特性を有する画像データによって構築された学習済みモデル206Cを、最終的な学習済みモデル206Cとして選択する。ただし、この学習済みモデル

206Cの構築に用いられた画像データの画像特性は予め制御装置20Cの外部で算出されたものを参照してもよい。このように、複数の測定領域を設定することにより、対象物FのX線透過画像のノイズ除去に最適な学習済みモデルを選択することができる。特に、X線透過画像の測定時のX線スペクトルの違いあるいはフィルタの効果の違いを精度よく推定することが可能となる。

[0095] また、選択部204Cは、治具のX線透過画像のノイズ特性として、複数の測定領域ごとの輝度値とノイズを解析し、輝度－ノイズ比の特性グラフをノイズ特性として取得することもできる。すなわち、選択部204Cは、X線透過画像から厚さあるいは材質の異なる複数の測定領域ROIを選択し、複数の測定領域ROIの輝度値の標準偏差及び輝度値の平均値を解析し、輝度－SNR（SN比）の特性グラフをノイズ特性として取得する。このとき、選択部204Cは、測定領域ROI毎のSNRを、 $SNR = (\text{輝度値の平均値}) \div (\text{輝度値の標準偏差})$ によって算出する。図29には、選択部204Cが取得した輝度－SNRの特性グラフの一例を示している。そして、選択部204Cは、取得した特性グラフと最も近いノイズ特性を有する画像データによって構築された学習済みモデル206Cを、最終的な学習済みモデル206Cとして選択する。

[0096] ここで、選択部204Cは、ノイズ特性として、上記の輝度－SNRの特性グラフに代えて、縦軸を輝度値の標準偏差から計算されるノイズとした特性グラフを取得してもよい。このような輝度－ノイズの特性グラフを用いることにより、X線検出カメラ10によって検出される各信号量に対し、各信号量の領域のグラフの傾きから支配的なノイズ要因（ショットノイズ、読み出しノイズ等）を特定し、その特定の結果を基に学習済みモデル206Cを選択できる。

[0097] 図30は、選択部204Cによる画像特性に基づいた学習済みモデルの選択機能を説明するための図である。図30において、(a)部は、複数の学習済みモデル206Cの構築に用いられたそれぞれの画像データの輝度－S

NRの特性グラフ G_1 , G_2 , G_3 を示し、(b)部には、これらの特性グラフ G_1 , G_2 , G_3 に加えて、治具を撮像したX線透過画像の輝度-SNRの特性グラフ G_T を示している。このような特性グラフ G_1 , G_2 , G_3 , G_T を対象にした場合には、選択部204Cは、特性グラフ G_T の特性に最も近い特性グラフ G_2 の画像データによって構築された学習済みモデル206Cを選択するように機能する。選択の際には、選択部204Cは、各特性グラフ G_1 , G_2 , G_3 と特性グラフ G_T と間で、一定間隔の輝度値毎のSNRの誤差を計算し、それらの誤差の平均二乗誤差(RMSE: Root Mean Squared Error)を計算し、平均二乗誤差が最も小さい特性グラフ G_1 , G_2 , G_3 に対応した学習済みモデル206Cを選択する。また、選択部204Cは、エネルギー特性を用いて選択する場合にも、同様にして学習済みモデル206Cを選択できる。

[0098] 選択部204Cは、治具のX線透過画像を対象に、複数の学習済みモデルを適用してノイズ除去処理を実行した後の画像の特性を基に、学習済みモデル206Cを選択することもできる。

[0099] 例えば、選択部204Cは、様々な解像度のチャートを有する治具を撮像したX線透過画像を用いて、その画像に複数の学習済みモデル206Cを適用し、その結果生成されたノイズ除去後の画像を評価する。そして、選択部204Cは、ノイズ除去処理前後における解像度の変化が最も小さい画像に用いられた学習済みモデル206Cを選択する。図31には、解像度の評価に用いられるX線透過画像の一例を示している。このX線透過画像においては、一方向に沿ってステップ状に解像度が変化するチャートが撮像対象とされている。X線透過画像の解像度は、MTF (Modulation Transfer Function) 又はCTF (Contrast Transfer Function) を用いて測定することができる。

[0100] 上記の解像度の変化の評価以外にも、選択部204Cは、ノイズ除去後の画像の輝度-ノイズ比の特性を評価し、その特性が最も高い画像の生成に用いられた学習済みモデル206Cを選択してもよい。図32には、輝度-ノ

イズ比の評価に用いられる治具の構造の一例を示している。例えば、治具として、厚さが一方向にステップ状に変化する部材 P 1 中に様々な材質及び様々な大きさを有する異物 P 2 が点在したものが用いられうる。図 3 3 は、図 3 2 の治具を対象に得られたノイズ除去処理後の X 線透過画像を示している。選択部 2 0 4 C は、X 線透過画像中において異物 P 2 の像を含む画像領域 R 1 と、その領域 R 1 の近傍の異物 P 2 の像を含まない画像領域 R 2 とを選択し、画像領域 R 1 における輝度の最小値 L_{MIN} と、画像領域 R 2 における輝度の平均値 L_{AVE} と、画像領域 R 2 における輝度の標準偏差 L_{SD} とを計算する。そして、選択部 2 0 4 C は、下記式；

$$CNR = (L_{AVE} - L_{MIN}) / L_{SD}$$

を用いて、輝度－ノイズ比 CNR を算出する。さらに、選択部 2 0 4 C は、複数の学習済みモデル 2 0 6 C の適用後の X 線透過画像のそれぞれを対象に輝度－ノイズ比 CNR を算出し、輝度－ノイズ比 CNR が最も高い X 線透過画像の生成に用いられた学習済みモデル 2 0 6 C を選択する。

[0101] または、選択部 2 0 4 C は、画像領域 R 1 における輝度の平均値 L_{AVE_R1} と、画像領域 R 2 における輝度の平均値 L_{AVE_R2} と、画像領域 R 2 における輝度の標準偏差 L_{SD} とを基に、下記式により計算してもよい。

$$CNR = (L_{AVE_R1} - L_{MIN_R2}) / L_{SD}$$

[0102] 処理部 2 0 5 C は、対象物 F を対象に取得された X 線透過画像に、選択部 2 0 4 C によって選択された学習済みモデル 2 0 6 C を適用して、ノイズを除去する画像処理を実行することにより出力画像を生成する。そして、処理部 2 0 5 C は、生成した出力画像を表示装置 3 0 等へ出力する。

[0103] 次に、第 2 実施形態に係る画像取得装置 1 を用いた対象物 F の X 線透過像の観察処理の手順、すなわち、第 2 実施形態に係る放射線画像取得方法の流れについて説明する。図 3 4 は、画像取得装置 1 による観察処理の手順を示すフローチャートである。

[0104] まず、制御装置 2 0 C によって、画像取得装置 1 のオペレータ（ユーザ）から、X 線照射器 5 0 の動作条件、あるいは X 線検出カメラ 1 0 による撮像

条件等を示す条件情報の入力を受け付けられる（ステップS1）。次に、制御装置20Cによって、条件情報を基に、X線検出カメラ10によって検出されるX線の平均エネルギーの値が算出される（ステップS2）。

[0105] さらに、制御装置20Cによって、制御装置20Cに格納されている学習済みモデル206Cの構築に用いられた画像データにおけるX線の平均エネルギーの値が特定される（ステップS3）。その後、制御装置20Cに格納されている全ての学習済みモデル206Cに関して、X線の平均エネルギーの値の特定が繰り返される（ステップS4）。

[0106] 次に、制御装置20Cによって、算出したX線の平均エネルギーの値が比較されることにより、複数の学習済みモデル206Cの候補が絞り込まれる（ステップS5）。さらに、画像取得装置1において治具がセットされてその治具が撮像されることにより、治具のX線透過画像が取得される（ステップS6）。

[0107] その後、制御装置20Cにより、治具のX線透過画像の画像特性（X線の平均エネルギーの値、厚さ－輝度の特性、輝度－ノイズ比の特性、輝度－ノイズの特性、解像度変化の特性等）が取得される（ステップS7）。そして、制御装置20Cにより、取得した画像特性を基に、最終的な学習済みモデル206Cが選択される（ステップS8）。

[0108] さらに、画像取得装置1において対象物Fがセットされて対象物Fが撮像されることにより、対象物FのX線透過画像が取得される（ステップS9）。次に、制御装置20Cにより、最終的に選択した学習済みモデル206Cを対象物FのX線透過画像に適用することによって、X線透過画像を対象にノイズ除去処理が実行される（ステップS10）。最後に、制御装置20Cにより、ノイズ除去処理が施されたX線透過画像である出力画像が、表示装置30に出力される（ステップS11）。

[0109] 以上説明した画像取得装置1によっても、X線透過画像において信号成分を大きくしつつノイズ成分を除去することができ、X線透過画像におけるS/N比を効果的に向上させることができる。また、対象物FのX線透過画像

を取得する際のX線の発生源の動作条件あるいはX線透過画像の撮像条件を
基に、対象物Fを透過したX線の平均エネルギーが算出される。そして、そ
の平均エネルギーを基に、予め構築された学習済みモデル206Cの中から
ノイズ除去に用いる学習済みモデル206Cの候補が絞り込まれる。これに
より、撮像対象のX線の平均エネルギーに対応した学習済みモデル206C
がノイズ除去に用いられるので、X線透過画像における輝度とノイズとの関
係に対応したノイズ除去が実現できる。その結果、X線透過画像におけるノ
イズを効果的に除去でき、例えば、異物検出性能を向上させることができる
。特に、X線透過画像は、管電圧、フィルタ、シンチレータ、X線検出カメ
ラの条件（ゲイン設定値、回路ノイズ値、飽和電荷量、変換係数値（e-/coun
t）、カメラのラインレート）、対象物等の違いによってノイズの態様が変化
する。そのため、機械学習によってノイズ除去を実現しようとする場合、様
々な条件で学習させた複数の学習モデルを用意しておく必要がある。従来は
、X線透過画像の測定時の条件に合わせて複数の学習モデルの中からノイズ
の態様に合った学習モデルを選択することは実現されていなかった。本実施
形態によれば、撮像対象のX線の平均エネルギーに対応した学習済みモデル
206Cが選択されることで、常にノイズの態様に合った学習モデルの選択
が実現される。

[0110] 一般に、X線透過画像においては、X線発生由来のノイズが含まれている
。X線透過画像のSN比を向上させるためにX線量を増加させることも考え
られるが、その場合は、X線量を増加させるとセンサの被ばく量が増加しセ
ンサの寿命が短くなる、X線発生源の寿命が短くなる、という問題があり、
SN比の向上と長寿命化との両立が困難である。本実施形態では、X線量を
増加させる必要はないので、SN比の向上と長寿命化の両立が可能である。

[0111] また、本実施形態の制御装置20Cは、選択した学習済みモデル206C
を用いて対象物FのX線透過画像からノイズを除去する画像処理を実行する
機能を有する。このような機能により、X線透過画像における輝度とノイズ
との関係に対応したノイズ除去が実現でき、X線透過画像におけるノイズを

効果的に除去できる。

[0112] また、本実施形態の制御装置 20C は、選択情報から算出された X 線の平均エネルギーの値と、学習済みモデル 206C の構築に用いられた画像データから特定される平均エネルギーの値とを比較することにより、学習済みモデルの候補を絞り込む機能を有している。このような機能により、X 線透過画像における輝度とノイズとの関係に対応したノイズ除去が確実に実現できる。

[0113] さらに、本実施形態の制御装置 20C は、治具の X 線透過画像の画像特性に基づいて候補から学習済みモデル 206C を選択する機能を有している。このような機能により、対象物 F の X 線透過画像のノイズ除去に最適な学習済みモデル 206C を選択できる。その結果、X 線透過画像における輝度とノイズとの関係に対応したノイズ除去がより確実に実現できる。

[0114] [第 2 実施形態の変形例]

上記第 2 実施形態の制御装置 20C は、条件情報から算出した X 線の平均エネルギーの値を基に学習済みモデル 206C の候補を選択していたが、X 線検出カメラ 10 の性能劣化、X 線照射器 50 の出力変動あるいは性能劣化に対応した機能を有していてもよい。

[0115] 図 35 は、第 2 実施形態の変形例に係る制御装置 20D の機能構成を示すブロック図である。制御装置 20D は、上記第 2 実施形態に係る制御装置 20C に比較して、測定部 207C を有する点と、算出部 202D 及び絞り込部 203D の機能とが異なっている。

[0116] 制御装置 20C においては、X 線検出カメラ 10 の性能劣化及び X 線照射器 50 の出力変動あるいは性能劣化は無いものとして、X 線の平均エネルギーから X 線透過画像における輝度とノイズとの関係が推定できるという前提で、学習済みモデル 206C を絞り込んでいる。これに対して、本変形例に係る制御装置 20D においては、X 線検出カメラ 10 の性能劣化、X 線照射器 50 の出力変動、あるいはその性能劣化を考慮して、X 線変換係数を算出し、X 線変換係数を基に学習済みモデル 206C を絞り込む機能を有する。

X線変換係数は、X線がシンチレータで可視光に変換された後にカメラのセンサで電子（電気信号）に変換されるまでの効率を示すパラメータである。

[0117] 一般に、X線変換係数 F_T は、X線の平均エネルギーを E [keV] とし、シンチレータ発光量を EM [photon/keV]、センサにおけるカップリング効率を C 、センサの量子効率を QE とすると、下記式；

$$F_T = E \times EM \times C \times QE$$

により計算できる。また、X線透過画像におけるSN比（SNR）は、X線変換係数 F_T と、X線フォトン数 N_p と、カメラの読み出しノイズ N_r とを用いて、下記式；

$$SNR = F_T N_p / \{(F_T N_p + N_r^2)^{1/2}\}$$

より求められることから、X線変換係数 F_T を基に、カメラの性能劣化を考慮した上でのX線透過画像における輝度とノイズとの関係が推定できる。

[0118] 制御装置20Dの測定部207Cは、シンチレータ11の性能劣化としての発光量 EM の低下量、スキャンカメラ12の性能劣化としてのセンサの量子効率 QE の低下量、X線照射器50の出力変動及び性能劣化としての平均エネルギー E の変化量を測定する機能を有する。例えば、測定部207Cは、シンチレータ11の性能劣化の無い状態（新品時での状態）と、現在のシンチレータ11との間の発光量の低下量を測定してその低下量から現在の発光量 EM を推定する。また、測定部207Cは、スキャンカメラ12の性能劣化の無い状態（新品時での状態）と、現在のスキャンカメラ12との間の輝度低下量を測定してその低下量から現在の量子効率 QE を推定する。また、測定部207Cは、X線照射器50の性能劣化の無い状態（新品時での状態）と、現在のX線照射器50との間の平均エネルギーの変化量から現在の平均エネルギー E を推定する。平均エネルギー E は、厚さ及び材質が既知であり、X線の平均エネルギーとX線透過率との関係が既知である平板状部材の撮像データから求めたり、厚さあるいは材質が変化する治具の複数点における撮像データから求めるなどしてもよい。

[0119] 制御装置20Dの算出部202Dは、算出したX線の平均エネルギー E と

、測定部207Cによって推定された発光量EM及び量子効率QEとを用いてX線変換係数 F_T を算出する。制御装置20Dの絞込部203Dは、算出したX線変換係数 F_T と、学習済みモデル206Cの構築に用いられた画像データにおけるX線変換係数 F_T とを比較することにより、学習済みモデル206Cの候補を絞り込む機能を有する。

[0120] また、上記変形例の制御装置20Dは、学習済みモデルの候補を絞り込んだ後に、治具を撮像して得られた画像特性を基に学習済みモデルを選択していたが、治具の撮像を行うことなく、対象物のX線透過画像に対するノイズ除去処理を実行してもよい。図36は、別の変形例に係る画像取得装置1による観察処理の手順を示すフローチャートである。このように、図34におけるステップS6～S8の処理を省略して、平均エネルギーを基に絞り込んだ学習済みモデルを用いてノイズ除去処理を実行することもできる。

[0121] [第3実施形態]

図37は、第3実施形態に係る制御装置20Eの機能構成を示すブロック図である。制御装置20Eは、取得部201E、特定部202E、選択部204E、及び処理部205Eを備える。

[0122] また、制御装置20Eには、X線透過画像を対象にノイズ除去処理を実行させる学習済みモデル206Eが予め複数格納されている。複数の学習済みモデル206Eは、それぞれ、画像データを教師データとして予め構築された機械学習による学習モデルである。機械学習には、教師あり学習、深層学習（ディープラーニング）、或いは強化学習、ニューラルネットワーク学習などがある。本実施形態では、ディープラーニングのアルゴリズムの一例として、Kai Zhangらの論文“Beyond a Gaussian Denoiser: Residual Learning of Deep CNN for Image Denoising”に記載された2次元の畳み込みニューラルネットワークが採用される。複数の学習済みモデル206Eは、外部のコンピュータ等により生成されて制御装置20Eにダウンロードされてもよいし、制御装置20E内で生成されてもよい。

[0123] 図38には、学習済みモデル206Eの構築に用いられる教師データであ

る画像データの一例を示す。教師データとしては、様々な厚さ、様々な材質、及び様々な解像度のパターンを撮像対象にしたX線透過画像が用いられる。図38に示す例は、鶏肉を対象に生成されたX線透過画像の例である。この画像データは、実際に画像取得装置1を用いて複数種類の対象物を対象に生成されたX線透過画像を用いてもよいし、シミュレーション計算によって生成された画像データを用いてもよい。X線透過画像については、画像取得装置1とは異なる装置を用いて取得したものでもかまわない。また、X線透過画像とシミュレーション計算によって生成された画像データを組み合わせて用いてもよい。複数の学習済みモデル206Eは、それぞれ、平均エネルギーが異なる透過X線を対象に得られた画像データであって、ノイズ分布が既知の画像データを用いて予め構築されている。画像データにおけるX線の平均エネルギーは、それぞれ、画像取得装置1のX線照射器（放射線発生源）50の動作条件あるいは画像取得装置1の撮像条件等を設定することにより、あるいはシミュレーション計算時のX線照射器50の動作条件あるいは撮像条件を設定することにより、予め異なる値に設定されている。つまり、複数の学習済みモデル206Eは、対象物FのX線透過画像を撮像する際のX線照射器（放射線発生源）50の動作条件、あるいは、X線検出カメラ10による撮像条件等を示す条件情報を基に算出された対象物Fを透過したX線に関する平均エネルギーに対応するX線画像である訓練画像を訓練データとして用いて、機械学習によって構築される（構築ステップ）。例えば、本実施形態では、複数の学習済みモデル206Eは、それぞれ、平均エネルギーが、10keV、20keV、30keV、…と10keV刻みの値が設定された複数種類の画像データを複数フレーム（例えば、20,000フレーム）用いて構築されている。

[0124] 学習済みモデル206Eの構築に用いられる教師データである画像データは、上述した第1実施形態における作成手順と同様な作成手順によって生成される。

[0125] 以下、図37に戻って、制御装置20Eの各機能部の機能の詳細について

説明する。

- [0126] 取得部201Eは、画像取得装置1を用いて治具及び対象物Fを対象にX線を照射して撮像したX線透過画像を取得する。治具としては、厚さ及び材質が既知であり、X線の平均エネルギーとX線透過率との関係が既知である平板状部材、あるいは、様々な解像度で撮像されるチャートを有する治具が用いられる。すなわち、取得部201Eは、対象物Fの観察処理に先立って画像取得装置1を用いて撮像された治具のX線透過画像を取得する。そして、取得部201Eは、治具のX線透過画像を基に学習済みモデル206Eが選択された後のタイミングで、画像取得装置1を用いて撮像された対象物FのX線透過画像を取得する。ただし、治具及び対象物FのX線透過画像の取得タイミングは上記には限定されず、同時であってもよいし逆のタイミングであってもよい。
- [0127] 特定部202Eは、取得部201Eによって取得された治具のX線透過画像の画像特性を特定する。具体的には、選択部204Eは、X線透過画像の画像特性として、エネルギー特性、ノイズ特性、解像度特性、あるいは周波数特性等を特定する。
- [0128] 例えば、特定部202Eは、治具として、厚さ及び材質が既知である平板状部材が用いられた場合には、治具を透過したX線像の輝度と空気を透過したX線像の輝度とを比較して、治具における1点（あるいは複数点の平均）のX線の透過率を算出する。例えば、治具を透過したX線像の輝度が5,550であり、空気を透過したX線像の輝度が15,000の場合には、透過率37%と算出する。そして、特定部202Eは、透過率37%から推定される透過X線の平均エネルギー（例えば、50keV）を、治具のX線透過画像のエネルギー特性として特定する。
- [0129] また、特定部202Eは、治具のX線透過画像のエネルギー特性として、厚さあるいは材質が変化する治具の複数点における特性を解析してもよい。図39は、特定部202Eの解析対象のX線透過画像の一例を示す図である。図39は、厚さがステップ状に変化した形状の治具を対象にしたX線透過

画像である。特定部202Eは、このようなX線透過画像から厚さの異なる複数の測定領域（ROI：Region Of Interest）を選択し、複数の測定領域ごとの輝度平均値を解析し、厚さ－輝度の特性グラフをエネルギー特性として取得する。図40には、特定部202Eが取得した厚さ－輝度の特性グラフの一例を示している。

[0130] また、特定部202Eは、治具のX線透過画像のノイズ特性として、複数の測定領域ごとの輝度値とノイズを解析し、輝度－ノイズ比の特性グラフをノイズ特性として取得することもできる。すなわち、特定部202Eは、X線透過画像から厚さあるいは材質の異なる複数の測定領域ROIを選択し、複数の測定領域ROIの輝度値の標準偏差及び輝度値の平均値を解析し、輝度－SNR（SN比）の特性グラフをノイズ特性として取得する。このとき、特定部202Eは、測定領域ROI毎のSNRを、 $SNR = (\text{輝度値の平均値}) \div (\text{輝度値の標準偏差})$ によって算出する。図41には、特定部202Eが取得した輝度－SNRの特性グラフの一例を示している。ここで、特定部202Eは、ノイズ特性として、上記の輝度－SNRの特性グラフに代えて、縦軸を輝度値の標準偏差から計算されるノイズとした特性グラフを取得してもよい。

[0131] また、特定部202Eは、チャートを有する治具が用いられた場合には、治具のX線透過画像における解像度の分布を解像度特性として取得することもできる。さらに、特定部202Eは、治具のX線透過画像に対して複数の学習済みモデル206Eを適用してノイズ除去処理を施した後の画像に関しても、解像度特性を取得する機能を有する。図42には、解像度の評価に用いられるX線透過画像の一例を示している。このX線透過画像においては、一方向に沿ってステップ状に解像度が変化するチャートが撮像対象とされている。X線透過画像の解像度は、MTF（Modulation Transfer Function）又はCTF（Contrast Transfer Function）を用いて測定することができる。

[0132] 再び図37を参照して、選択部204Eは、特定部202Eによって取得

された画像特性を基に、制御装置 20E 内に格納された複数の学習済みモデル 206E の中から、最終的に対象物 F の X 線透過画像のノイズ除去処理に用いる学習済みモデル 206E を選択する。すなわち、選択部 204E は、特定部 202E によって特定された画像特性と、複数の学習済みモデル 206E の構築に用いられた画像データから特定された画像特性とを比較し、両者が類似する学習済みモデル 206E を選択する。

[0133] 例えば、選択部 204E は、特定部 202E が特定した透過 X 線の平均エネルギーの値に最も近い平均エネルギーの画像データによって構築された学習済みモデル 206E を一つ選択する。

[0134] また、選択部 204E は、特定部 202E による特定方法と同様にして、複数の学習済みモデル 206E の構築に用いた画像データを対象に、厚さ－輝度の特性グラフを取得し、治具を対象に取得した厚さ－輝度の特性グラフと最も近い特性を有する画像データによって構築された学習済みモデル 206E を、最終的な学習済みモデル 206E として選択する。ただし、学習済みモデル 206E の構築に用いられた画像データの画像特性は予め制御装置 20E の外部で算出されたものを参照してもよい。このように、複数の測定領域を設定して得られた画像特性を用いることにより、対象物 F の X 線透過画像のノイズ除去に最適な学習済みモデルを選択することができる。特に、X 線透過画像の測定時の X 線スペクトルの違いあるいはフィルタの効果の違いを精度よく推定することが可能となる。

[0135] また、選択部 204E は、特定部 202E によって取得された輝度－ノイズ比の特性と最も近い輝度－ノイズ比の特性を有する画像データによって構築された学習済みモデル 206E を、最終的な学習済みモデル 206E として選択してもよい。ただし、学習済みモデル 206E の構築に用いられた画像データの画像特性は、選択部 204E が画像データから取得してもよいし、予め制御装置 20E の外部で算出されたものを参照してもよい。ここで、選択部 204E は、ノイズ特性として、輝度－ノイズ比の特性に代えて、輝度－ノイズの特性を用いて学習済みモデル 206E を選択してもよい。この

ような輝度－ノイズの特性を用いることにより、X線検出カメラ10によって検出される各信号量に対し、各信号量の領域のグラフの傾きから支配的なノイズ要因（ショットノイズ、読み出しノイズ等）を特定し、その特定の結果を基に学習済みモデル206Eを選択できる。

[0136] 図43は、選択部204Eによる画像特性に基づいた学習済みモデルの選択機能を説明するための図である。図43において、(a)部は、複数の学習済みモデル206Eの構築に用いられたそれぞれの画像データの輝度－SNRの特性グラフ G_1 、 G_2 、 G_3 を示し、(b)部には、これらの特性グラフ G_1 、 G_2 、 G_3 に加えて、治具を撮像したX線透過画像の輝度－SNRの特性グラフ G_T を示している。このような特性グラフ G_1 、 G_2 、 G_3 、 G_T を対象にした場合には、選択部204Eは、特性グラフ G_T の特性に最も近い特性グラフ G_2 の画像データによって構築された学習済みモデル206Eを選択するように機能する。選択の際には、選択部204Eは、各特性グラフ G_1 、 G_2 、 G_3 と特性グラフ G_T と間で、一定間隔の輝度値毎のSNRの誤差を計算し、それらの誤差の平均二乗誤差（RMSE：Root Mean Squared Error）を計算し、平均二乗誤差が最も小さい特性グラフ G_1 、 G_2 、 G_3 に対応した学習済みモデル206Eを選択する。また、選択部204Eは、エネルギー特性を用いて選択する場合にも、同様にして学習済みモデル206Eを選択できる。

[0137] 選択部204Eは、治具のX線透過画像を対象に、複数の学習済みモデルを適用してノイズ除去処理を実行した後の画像の特性を基に、特性が相対的に優れた画像の生成に用いられた学習済みモデル206Eを選択することもできる。

[0138] 例えば、選択部204Eは、様々な解像度のチャートを有する治具を撮像したX線透過画像を用いて、その画像に複数の学習済みモデル206Eを適用し、その結果生成されたノイズ除去後の画像の解像度特性を評価する。そして、選択部204Eは、ノイズ除去処理前後における各分布の解像度の変化が最も小さい画像に用いられた学習済みモデル206Eを選択する。

[0139] 上記の解像度の変化の評価以外にも、選択部204Eは、ノイズ除去後の画像の輝度－ノイズ比の特性を評価し、その特性が最も高い画像の生成に用いられた学習済みモデル206Eを選択してもよい。図44には、輝度－ノイズ比の評価に用いられる治具の構造の一例を示している。例えば、治具として、厚さが一方向にステップ状に変化する部材P1中に様々な材質及び様々な大きさを有する異物P2が点在したものが用いられうる。図45は、図44の治具を対象に得られたノイズ除去処理後のX線透過画像を示している。選択部204Eは、X線透過画像中において異物P2の像を含む画像領域R1と、その領域R1の近傍の異物P2の像を含まない画像領域R2とを選択し、画像領域R1における輝度の最小値 L_{MIN} と、画像領域R2における輝度の平均値 L_{AVE} と、画像領域R2における輝度の標準偏差 L_{SD} とを計算する。そして、選択部204Eは、下記式；

$$CNR = (L_{AVE} - L_{MIN}) / L_{SD}$$

を用いて、輝度－ノイズ比CNRを算出する。さらに、選択部204Eは、複数の学習済みモデル206Eの適用後のX線透過画像のそれぞれを対象に輝度－ノイズ比CNRを算出し、輝度－ノイズ比CNRが最も高いX線透過画像の生成に用いられた学習済みモデル206Eを選択する。

[0140] または、選択部204Eは、画像領域R1における輝度の平均値 L_{AVE_R1} と、画像領域R2における輝度の平均値 L_{AVE_R2} と、画像領域R2における輝度の標準偏差 L_{SD} とを基に、下記式により計算してもよい。

$$CNR = (L_{AVE_R1} - L_{MIN_R2}) / L_{SD}$$

[0141] 処理部205Eは、対象物Fを対象に取得されたX線透過画像に、選択部204Eによって選択された学習済みモデル206Eを適用して、ノイズを除去する画像処理を実行することにより出力画像を生成する。そして、処理部205Eは、生成した出力画像を表示装置30等に出力する。

[0142] 次に、第3実施形態に係る画像取得装置1を用いた対象物FのX線透過像の観察処理の手順、すなわち、第3実施形態に係る放射線画像取得方法の流れについて説明する。図46は、画像取得装置1による観察処理の手順を示

すフローチャートである。

- [0143] まず、画像取得装置 1 のオペレータ（ユーザ）によって、X線照射器 50 の管電圧あるいはX線検出カメラ 10におけるゲイン等の画像取得装置 1 における撮像条件が設定される（ステップ S 1 E）。次に、画像取得装置 1 に治具がセットされて、制御装置 20 E によって治具を対象としてX線透過画像が取得される（ステップ S 2 E）。このとき、複数種類の治具のX線透過画像が順次取得されてもよい。
- [0144] それに応じて、制御装置 20 E によって、治具のX線透過画像の画像特性（エネルギー特性、ノイズ特性、及び解像度特性）が特定される（ステップ S 3 E）。さらに、制御装置 20 E によって、治具のX線透過画像に対して複数の学習済みモデル 206 E が適用され、複数の学習済みモデル 206 E の適用後のそれぞれのX線透過画像の画像特性（解像度特性あるいは輝度－ノイズ比の値、等）が特定される（ステップ S 4 E）。
- [0145] 次に、制御装置 20 E によって、治具のX線透過画像のエネルギー特性と学習済みモデル 206 E の構築に用いられた画像データのエネルギー特性との比較結果、及び、治具のX線透過画像の解像度特性の学習済みモデルの適用前後における変化度合いを基に、学習済みモデル 206 E が選択される（ステップ S 5 E）。ここでは、治具のX線透過画像のノイズ特性と学習済みモデル 206 E の構築に用いられた画像データのノイズ特性との比較結果、及び、治具のX線透過画像の解像度特性の学習済みモデルの適用前後における変化状態を基に、学習済みモデル 206 E が選択されてもよい。また、ステップ S 5 E では、上記処理に代えて、治具のX線透過画像の学習済みモデルの適用後における輝度－ノイズ比 CNR が最も高い学習済みモデル 206 E が選択されてもよい。
- [0146] さらに、画像取得装置 1 において対象物 F がセットされて対象物 F が撮像されることにより、対象物 F のX線透過画像が取得される（ステップ S 7 E）。次に、制御装置 20 E により、最終的に選択した学習済みモデル 206 E を対象物 F のX線透過画像に適用することによって、X線透過画像を対象

にノイズ除去処理が実行される（ステップS 8 E）。最後に、制御装置2 0 Eにより、ノイズ除去処理が施されたX線透過画像である出力画像が、表示装置3 0に出力される（ステップS 9 E）。

[0147] 以上説明した画像取得装置1によっても、X線透過画像において信号成分を大きくしつつノイズ成分を除去することができ、X線透過画像におけるS/N比を効果的に向上させることができる。また、治具のX線透過画像の画像特性が特定され、その画像特性を基に、予め構築された学習済みモデルの中からノイズ除去に用いる学習済みモデルが選択される。これにより、画像取得装置1におけるX線照射器5 0の動作条件等により変化するX線透過画像の特性を推定でき、この推定結果に応じて選択された学習済みモデル2 0 6 Eがノイズ除去に用いられるので、X線透過画像における輝度とノイズとの関係に対応したノイズ除去が実現できる。その結果、X線透過画像におけるノイズを効果的に除去できる。

[0148] 一般に、X線透過画像においては、X線発生由来のノイズが含まれている。X線透過画像のS/N比を向上させるためにX線量を増加させることも考えられるが、その場合は、X線量を増加させるとセンサの被ばく量が増加しセンサの寿命が短くなる、X線発生源の寿命が短くなる、という問題があり、S/N比の向上と長寿命化との両立が困難である。本実施形態では、X線量を増加させる必要はないので、S/N比の向上と長寿命化の両立が可能である。

[0149] 本実施形態では、学習済みモデルの選択において、治具のX線透過画像の画像特性と、学習済みモデルの構築に用いられた画像データの画像特性とが比較されている。これにより、治具のX線透過画像の画像特性に対応した画像データによって構築された学習済みモデル2 0 6 Eが選択されるので、対象物FのX線透過画像におけるノイズを効果的に除去できる。

[0150] また、本実施形態では、治具のX線透過画像に対して複数の学習済みモデル2 0 6 Eを適用した画像の画像特性を用いて、学習済みモデルが選択されている。この場合、実際に複数の学習済みモデル2 0 6 Eを適用した治具のX線透過画像の画像特性により、学習済みモデル2 0 6 Eが選択されるので

、対象物FのX線透過画像におけるノイズを効果的に除去できる。

[0151] 特に、本実施形態では、画像特性としてエネルギー特性又はノイズ特性が用いられている。この場合、画像取得装置1の撮像条件によって変化する治具のX線透過画像のエネルギー特性又はノイズ特性と類似した特性の画像によって構築された学習済みモデル206Eを選択することとなる。その結果、画像取得装置1の条件変化に対応した対象物FのX線透過画像におけるノイズ除去が可能となる。

[0152] 本実施形態では、画像特性として、解像度特性又は輝度-ノイズ比も用いられている。このような構成によれば、選択した学習済みモデル206Eを適用することにより、解像度特性又は輝度-ノイズ比が良好なX線透過画像を得ることができるようになる。その結果、画像取得装置1の条件変化に対応した対象物のX線透過画像におけるノイズ除去が可能となる。

[0153] 上述した実施形態では、学習済みモデルは、所定の構造体の放射線画像に対し正規分布に沿ったノイズ値を付加して得られた画像データを教師データとした機械学習によって構築される、ことが好適である。これにより、学習済みモデルの構築に用いられる教師データである画像データを用意することが容易となり、学習済みモデルを効率的に構築することができる。

[0154] また、上述した実施形態では、画像処理モジュールは、画素値とノイズ値の広がり进行评估した評価値との関係を表す関係データに基づいて、放射線画像の各画素の画素値から評価値を導出し、放射線画像の各画素に導出した評価値を対応付けたデータであるノイズマップを生成するノイズマップ生成部と、放射線画像及びノイズマップを、学習済みモデルに入力し、放射線画像からノイズを除去するノイズ除去処理を実行する処理部と、を有する、ことも好適である。また、実行するステップでは、画素値とノイズ値の広がり进行评估した評価値との関係を表す関係データに基づいて、放射線画像の各画素の画素値から評価値を導出し、放射線画像の各画素に導出した評価値を対応付けたデータであるノイズマップを生成し、放射線画像及びノイズマップを、学習済みモデルに入力し、放射線画像からノイズを除去するノイズ除去処

理を実行する、ことも好適である。この場合、画素値とノイズ値の広がりを経評価した評価値との関係を表す関係データに基づいて、放射線画像の各画像の画素値から評価値が導出され、放射線画像の各画素に導出した評価値を対応付けたデータであるノイズマップが生成される。そして、放射線画像及びノイズマップが、予め機械学習によって構築された学習済みモデルに入力され、放射線画像からノイズを除去するノイズ除去処理が実行される。これにより、放射線画像の各画素の画素値から評価されるノイズ値の広がりが考慮されて、該放射線画像の各画素におけるノイズが機械学習により除去され、学習済みモデルを用いて放射線画像における画素値とノイズの広がりとの関係に対応したノイズ除去が実現できる。その結果、放射線画像におけるノイズを効果的に除去できる。

[0155] さらに、上述した実施形態では、画像処理モジュールは、放射線を照射して対象物を撮像する際の放射線の発生源の条件あるいは撮像条件のいずれかを示す条件情報の入力を受け付ける入力部と、条件情報を基に、対象物を透過した放射線に関する平均エネルギーを算出する算出部と、平均エネルギーを基に、予め画像データを用いて機械学習によってそれぞれ構築された複数の学習済みモデルの中から、ノイズ除去処理に用いる学習済みモデルを絞り込む絞り込み部と、を有する、ことが好適である。また、実行するステップでは、放射線を照射して対象物を撮像する際の放射線の発生源の条件あるいは撮像条件のいずれかを示す条件情報の入力を受け付け、条件情報を基に、対象物を透過した放射線に関する平均エネルギーを算出し、平均エネルギーを基に、予め画像データを用いて機械学習によってそれぞれ構築された複数の学習済みモデルの中から、ノイズ除去処理に用いる学習済みモデルを絞り込む、ことも好適である。この場合、対象物の放射線画像を取得する際の放射線の発生源の条件あるいは撮像条件を基に、対象物を透過した放射線の平均エネルギーが算出される。そして、その平均エネルギーを基に、予め構築された学習済みモデルの中からノイズ除去に用いる学習済みモデルの候補が絞り込まれる。これにより、撮像対象の放射線の平均エネルギーに対応した学習

済みモデルがノイズ除去に用いられるので、放射線画像における輝度とノイズとの関係に対応したノイズ除去が実現できる。その結果、放射線画像におけるノイズを効果的に除去できる。

[0156] またさらに、上述した実施形態では、画像処理モジュールは、治具を対象として撮像装置によって取得された放射線画像の画像特性を特定する特定部と、画像特性を基に、予め画像データを用いて機械学習によってそれぞれ構築された複数の学習済みモデルの中から、学習済みモデルを選択する選択部と、選択された学習済みモデルを用いてノイズ除去処理を実行する処理部と、を有する、ことも好適である。また、実行するステップでは、治具を対象として取得された放射線画像の画像特性を特定し、画像特性を基に、予め画像データを用いて機械学習によってそれぞれ構築された複数の学習済みモデルの中から、学習済みモデルを選択し、選択された学習済みモデルを用いてノイズ除去処理を実行する、ことも好適である。かかる構成によれば、治具の放射線画像の画像特性が特定され、その画像特性を基に、予め構築された学習済みモデルの中からノイズ除去に用いる学習済みモデルが選択される。これにより、システムにおける放射線発生源の条件等により変化する放射線画像の特性を推定でき、この推定結果に応じて選択された学習済みモデルがノイズ除去に用いられるので、放射線画像における輝度とノイズとの関係に対応したノイズ除去が実現できる。その結果、放射線画像におけるノイズを効果的に除去できる。

産業上の利用可能性

[0157] 実施形態は、放射線画像取得装置、放射線画像取得システム、及び放射線画像取得方法を使用用途とし、放射線画像におけるS/N比を効果的に向上できるものである。

符号の説明

[0158] 1…画像取得装置（放射線画像取得装置、放射線画像取得システム）、10…X線検出カメラ（撮像装置）、11…シンチレータ、12…スキャンカメラ（検出素子）、20、20A～20E…制御装置（画像処理モジュール

)、50…X線照射器（放射線発生源）、60…ベルトコンベア（搬送装置）、72…画素、74…画素ライン（画素群）、73…読み出し回路、201, 201C…入力部、202, 202A, 202C, 202D…算出部、202E…特定部、203C, 203D…絞込部、204, 204A, 204B…ノイズマップ生成部、204C, 204E…選択部、205, 205C, 205E…処理部、206C, 206E, 207…学習済みモデル、F…対象物、TD…搬送方向（一の方向）。

請求の範囲

- [請求項1] 対象物を透過した放射線を一の方向にスキャンして撮像して放射線画像を取得する撮像装置と、
- 前記撮像装置上に設けられ、前記放射線を光に変換するシンチレータと、
- 前記放射線画像を予め画像データを用いて機械学習によって構築された学習済みモデルに入力させて、前記放射線画像からノイズを除去するノイズ除去処理を実行する画像処理モジュールと、
- を備え、
- 前記撮像装置は、
- 前記一の方向に沿って配列されたM個（Mは、2以上の整数）の画素を有する画素ラインが、前記一の方向に直交する方向にN列（Nは2以上の整数）配列されて構成され、前記画素毎に前記光に関する検出信号を出力する検出素子と、
- 前記検出素子のN列の前記画素ライン毎に、M個の前記画素のうちの少なくとも2個の前記画素から出力される前記検出信号を加算し、加算したN個の前記検出信号を順次出力することにより、前記放射線画像を出力する読出回路と、
- を含む、
- 放射線画像取得装置。
- [請求項2] 前記学習済みモデルは、所定の構造体の放射線画像に対し正規分布に沿ったノイズ値を付加して得られた画像データを教師データとした機械学習によって構築される、
- 請求項1に記載の放射線画像取得装置。
- [請求項3] 前記画像処理モジュールは、
- 画素値とノイズ値の広がり进行评估した評価値との関係を表す関係データに基づいて、前記放射線画像の各画素の画素値から前記評価値を導出し、前記放射線画像の各画素に導出した前記評価値を対応付けた

データであるノイズマップを生成するノイズマップ生成部と、

前記放射線画像及び前記ノイズマップを、前記学習済みモデルに入力し、前記放射線画像からノイズを除去するノイズ除去処理を実行する処理部と、

を有する請求項 1 又は 2 に記載の放射線画像取得装置。

[請求項4]

前記画像処理モジュールは、

放射線を照射して対象物を撮像する際の前記放射線の発生源の条件あるいは撮像条件のいずれかを示す条件情報の入力を受け付ける入力部と、

前記条件情報を基に、前記対象物を透過した前記放射線に関する平均エネルギーを算出する算出部と、

前記平均エネルギーを基に、予め画像データを用いて機械学習によってそれぞれ構築された複数の学習済みモデルの中から、前記ノイズ除去処理に用いる学習済みモデルを絞り込む絞り込み部と、
を有する請求項 1 又は 2 に記載の放射線画像取得装置。

[請求項5]

前記画像処理モジュールは、

治具を対象として前記撮像装置によって取得された放射線画像の画像特性を特定する特定部と、

前記画像特性を基に、予め画像データを用いて機械学習によってそれぞれ構築された複数の学習済みモデルの中から、学習済みモデルを選択する選択部と、

選択された前記学習済みモデルを用いて前記ノイズ除去処理を実行する処理部と、

を有する請求項 1 又は 2 に記載の放射線画像取得装置。

[請求項6]

請求項 1 ～ 5 のいずれか 1 項に記載の放射線画像取得装置と、

前記対象物に放射線を照射する発生源と、

前記対象物を前記撮像装置に対して前記一の方向に搬送する搬送装置と、

を備える放射線画像取得システム。

[請求項7]

対象物を透過した放射線に応じたシンチレーション光を一の方向にスキャンして撮像して放射線画像を取得するステップと、

前記放射線画像を予め画像データを用いて機械学習によって構築された学習済みモデルに入力させて、前記放射線画像からノイズを除去するノイズ除去処理を実行するステップと、を備え、

前記取得するステップでは、

前記一の方向に沿って配列されたM個（Mは、2以上の整数）の画素を有する画素ラインが、前記一の方向に直交する方向にN列（Nは2以上の整数）配列されて構成され、前記画素毎に前記シンチレーション光に関する検出信号を出力する検出素子を用いて、前記検出素子のN列の前記画素ライン毎に、M個の前記画素のうちの少なくとも2個の前記画素から出力される前記検出信号を加算し、加算したN個の前記検出信号を順次出力することにより、前記放射線画像を出力する、放射線画像取得方法。

[請求項8]

前記学習済みモデルは、所定の構造体の放射線画像に対し正規分布に沿ったノイズ値を付加して得られた画像データを教師データとした機械学習によって構築される、

請求項7に記載の放射線画像取得方法。

[請求項9]

前記実行するステップでは、画素値とノイズ値の広がり进行评估した評価値との関係を表す関係データに基づいて、前記放射線画像の各画素の画素値から前記評価値を導出し、前記放射線画像の各画素に導出した前記評価値を対応付けたデータであるノイズマップを生成し、前記放射線画像及び前記ノイズマップを、前記学習済みモデルに入力し、前記放射線画像からノイズを除去するノイズ除去処理を実行する、請求項7又は8に記載の放射線画像取得方法。

[請求項10]

前記実行するステップでは、放射線を照射して対象物を撮像する際の前記放射線の発生源の条件あるいは撮像条件のいずれかを示す条件

情報の入力を受け付け、前記条件情報を基に、前記対象物を透過した前記放射線に関する平均エネルギーを算出し、前記平均エネルギーを基に、予め画像データを用いて機械学習によってそれぞれ構築された複数の学習済みモデルの中から、前記ノイズ除去処理に用いる学習済みモデルを絞り込む、

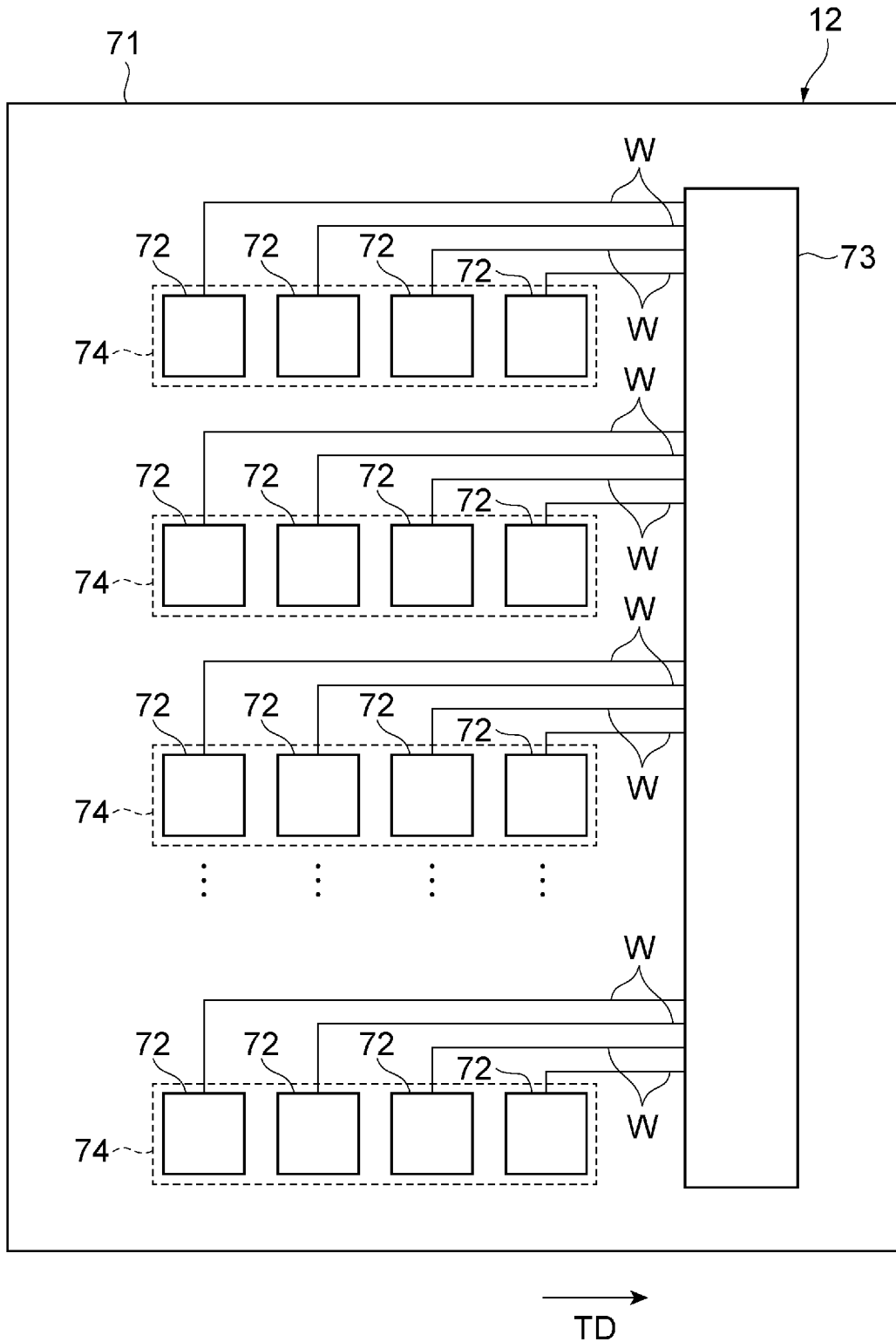
請求項 7 又は 8 に記載の放射線画像取得方法。

[請求項11] 前記実行するステップでは、治具を対象として取得された放射線画像の画像特性を特定し、前記画像特性を基に、予め画像データを用いて機械学習によってそれぞれ構築された複数の学習済みモデルの中から、学習済みモデルを選択し、選択された前記学習済みモデルを用いて前記ノイズ除去処理を実行する、

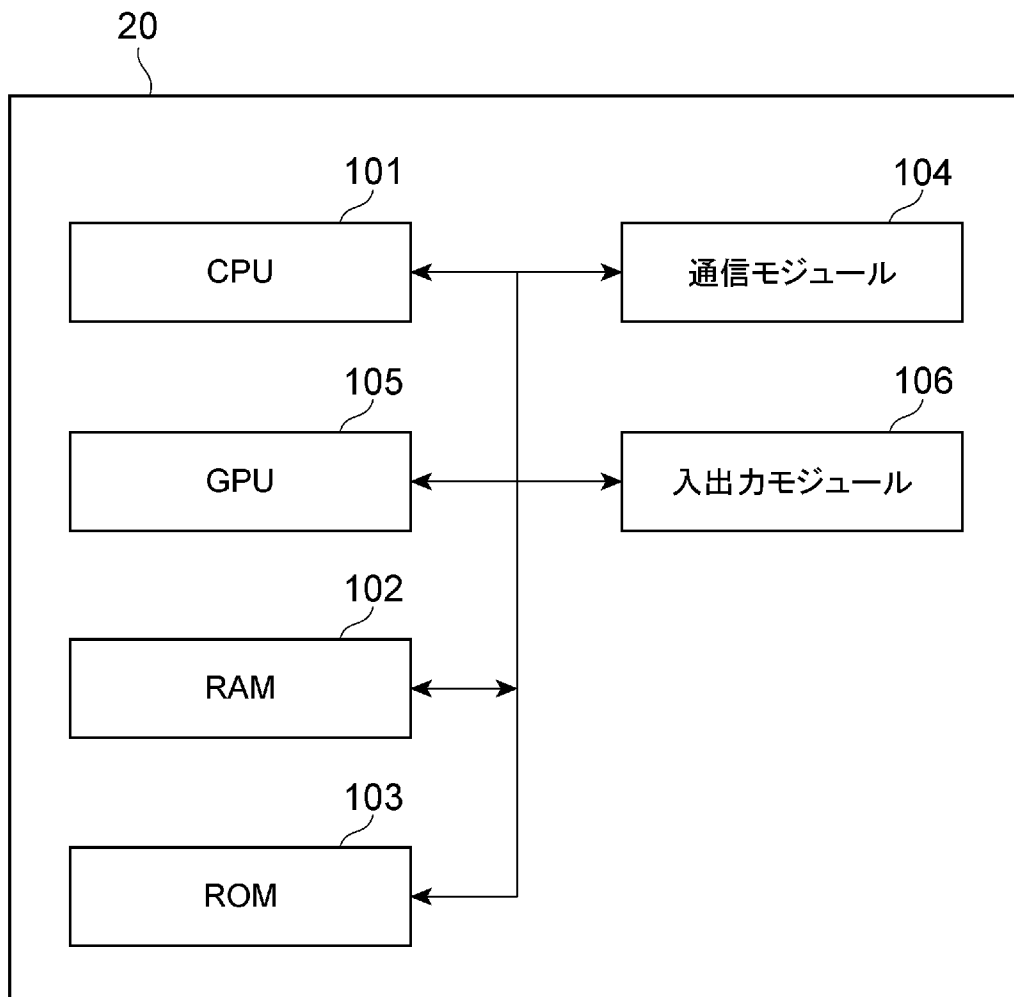
請求項 7 又は 8 に記載の放射線画像取得方法。

[請求項12] 前記対象物に放射線を照射するステップと、
前記対象物を前記検出素子に対して前記一の方向に搬送するステップと、
をさらに備える請求項 7 ～ 11 のいずれか 1 項に記載の放射線画像取得方法。

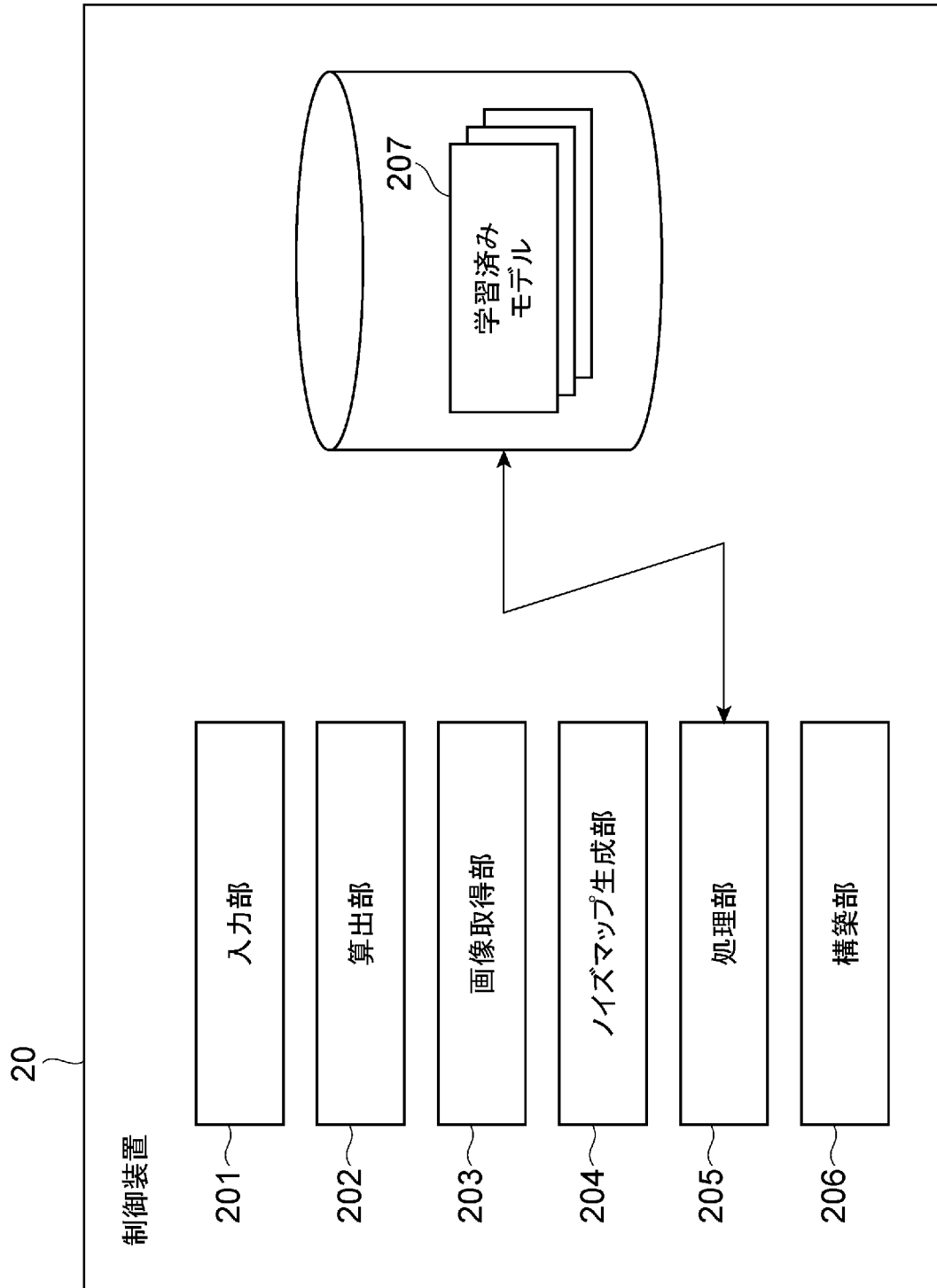
[図2]



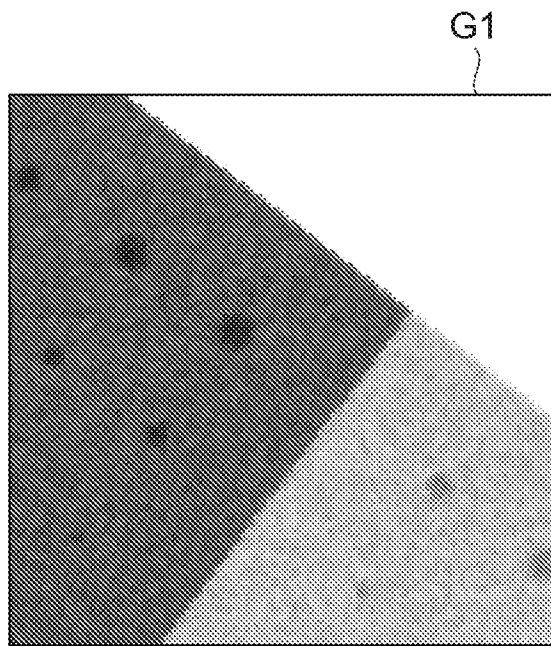
[図3]



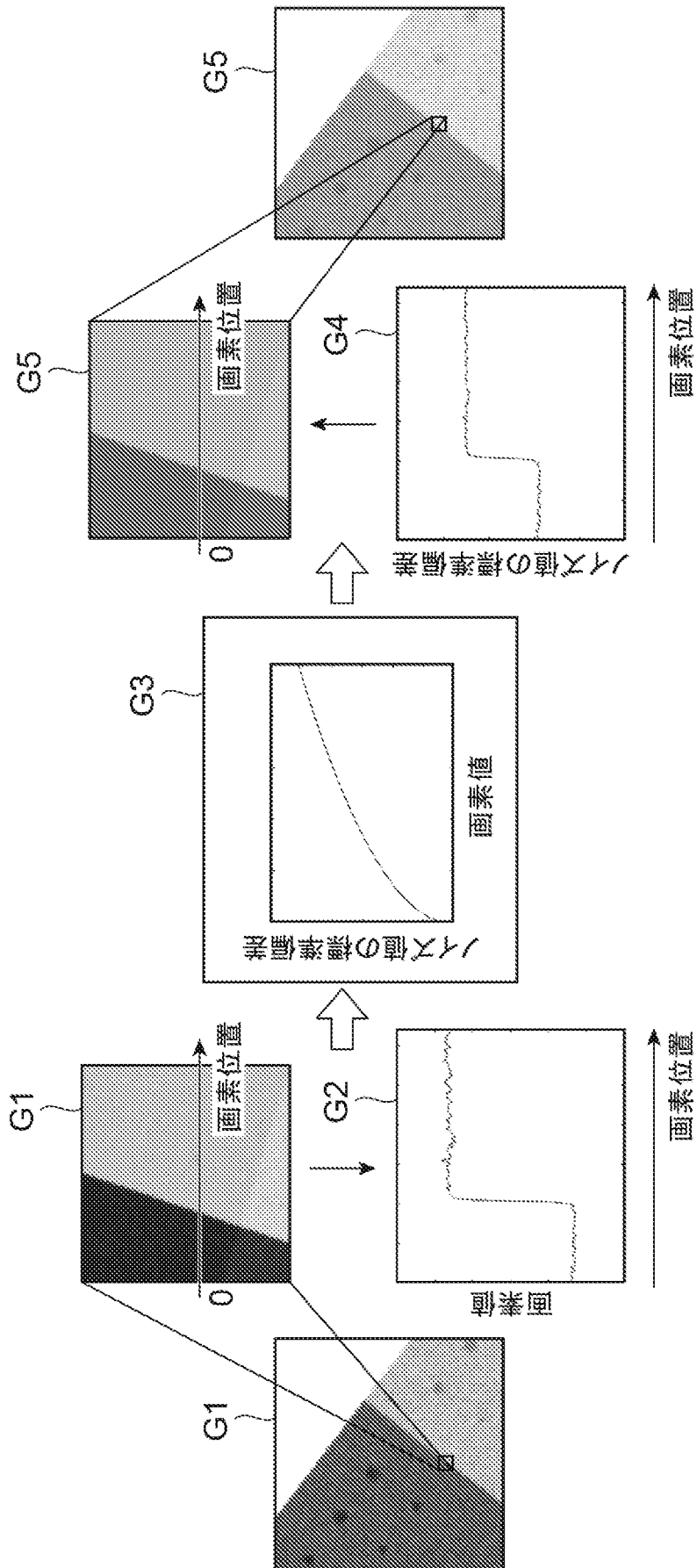
[図4]



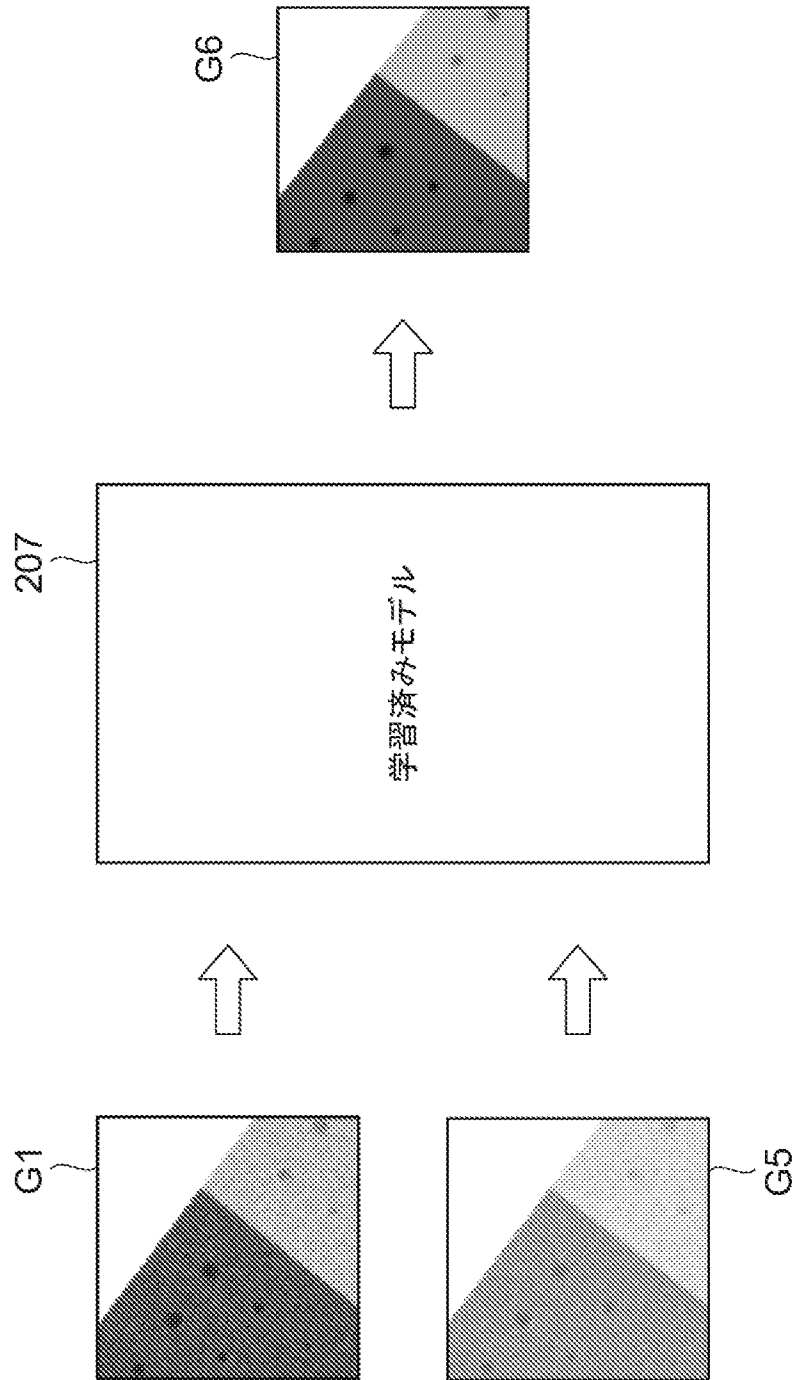
[図5]



[図6]

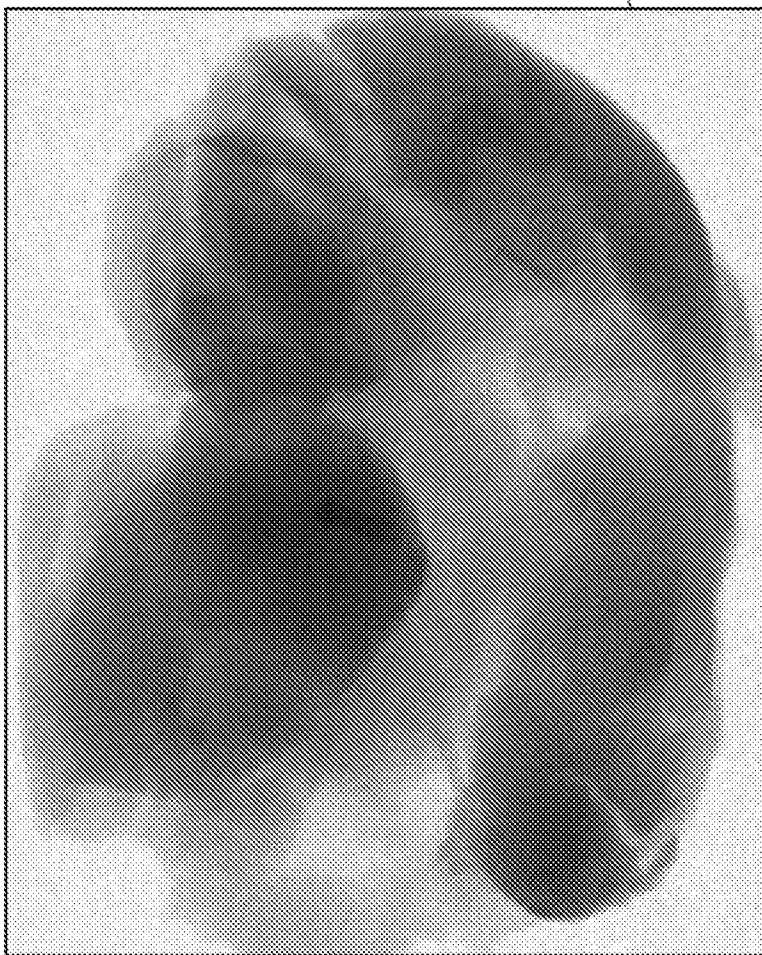


[図7]

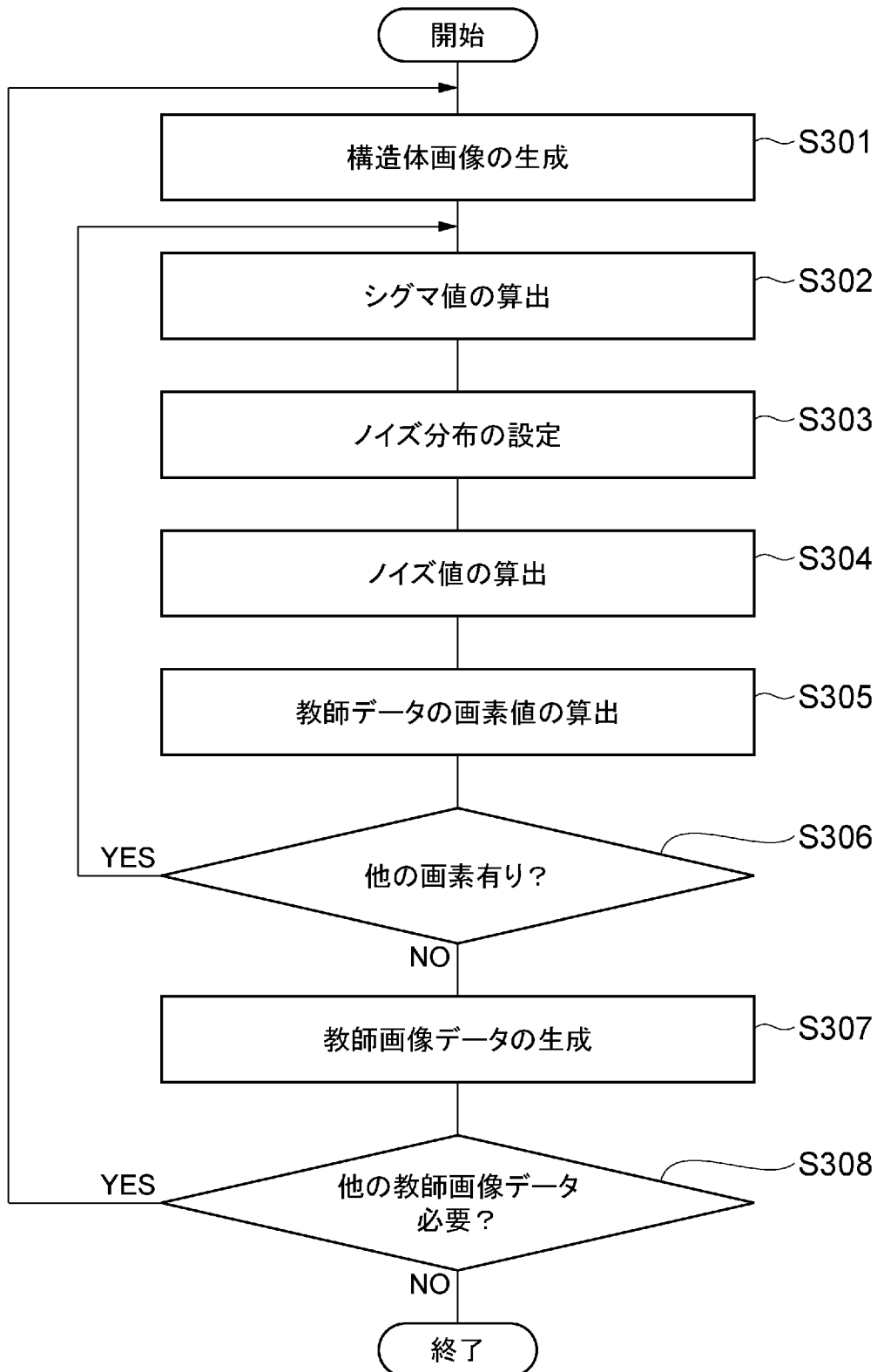


[8]

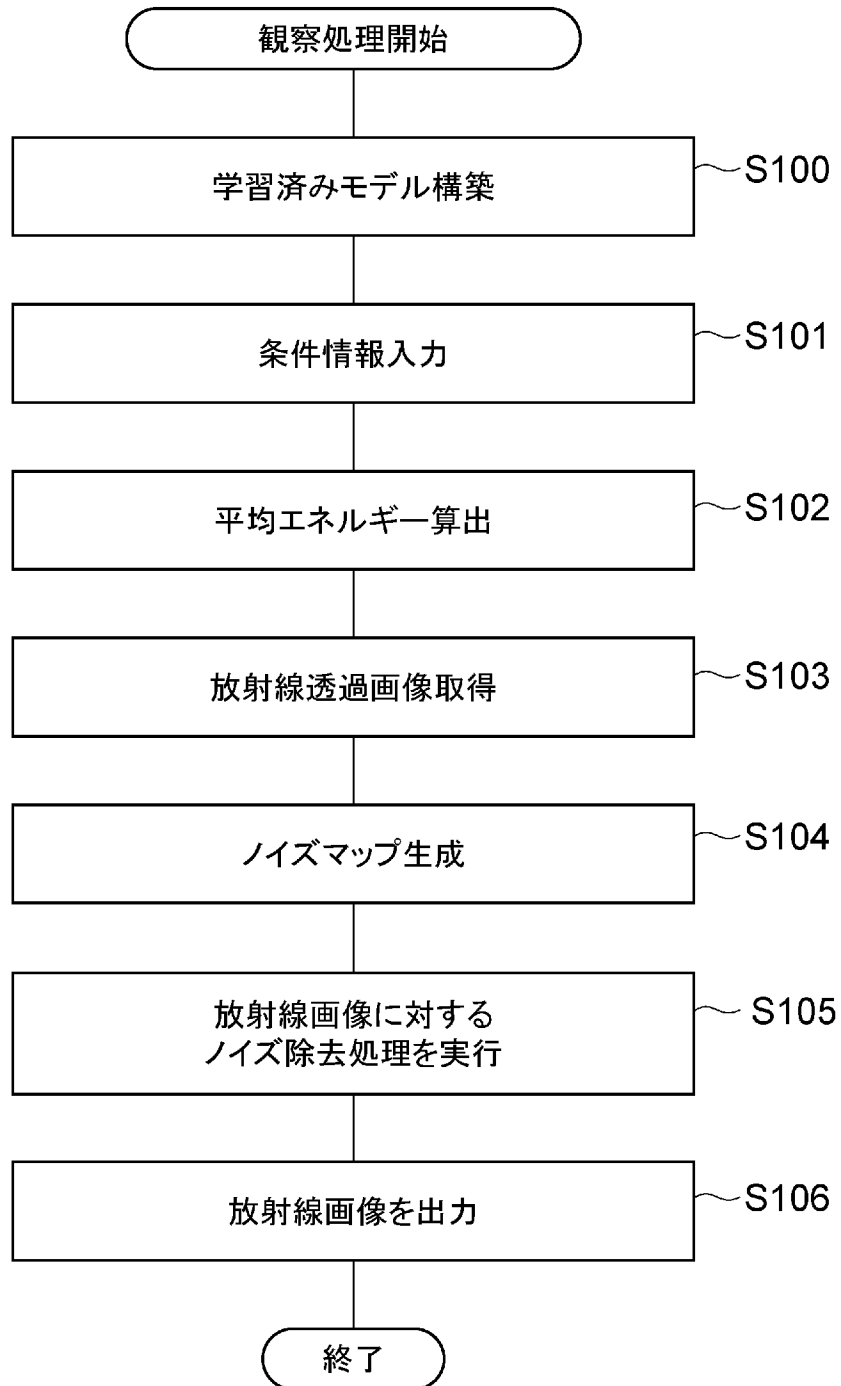
G7



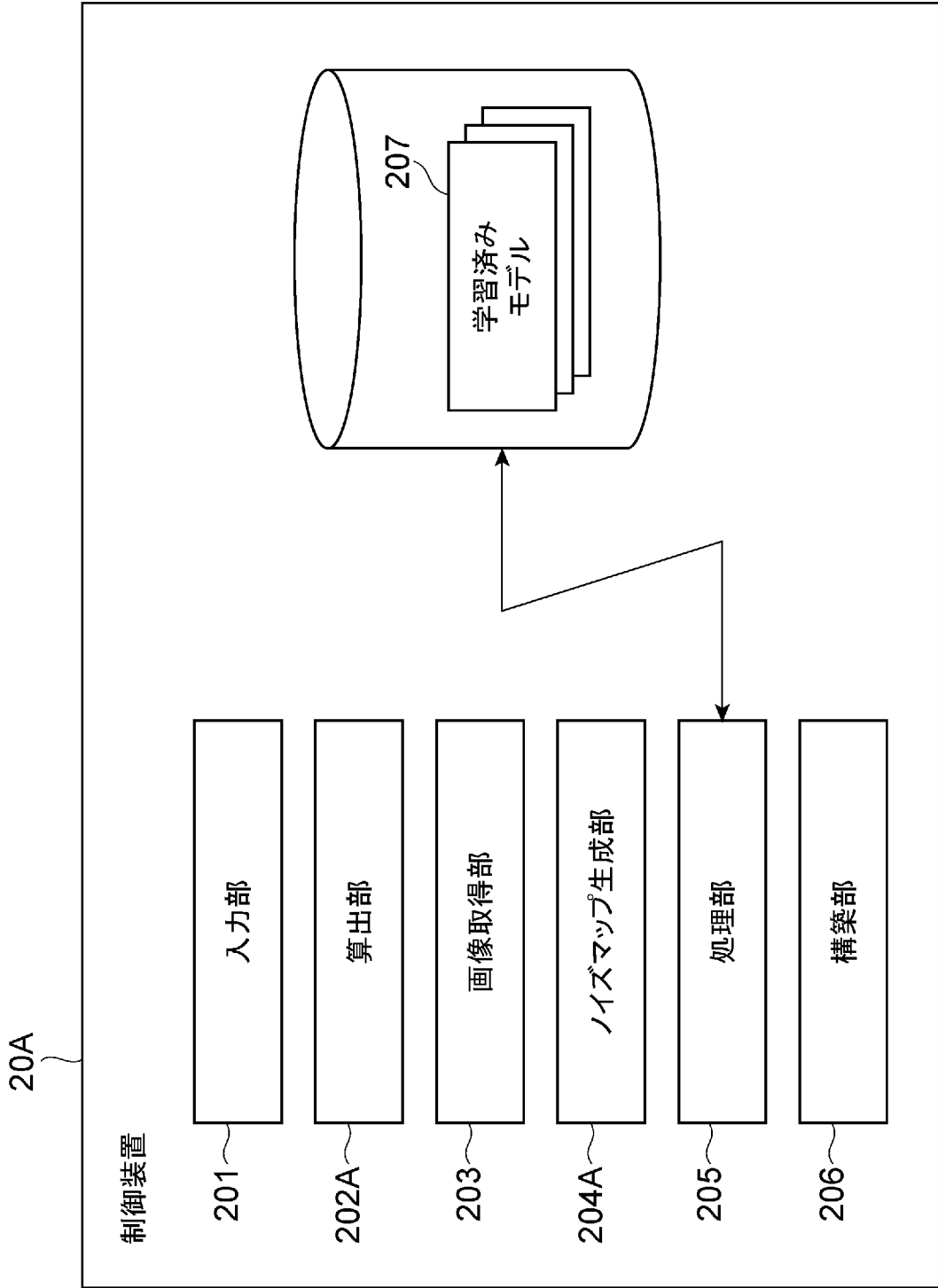
[図9]



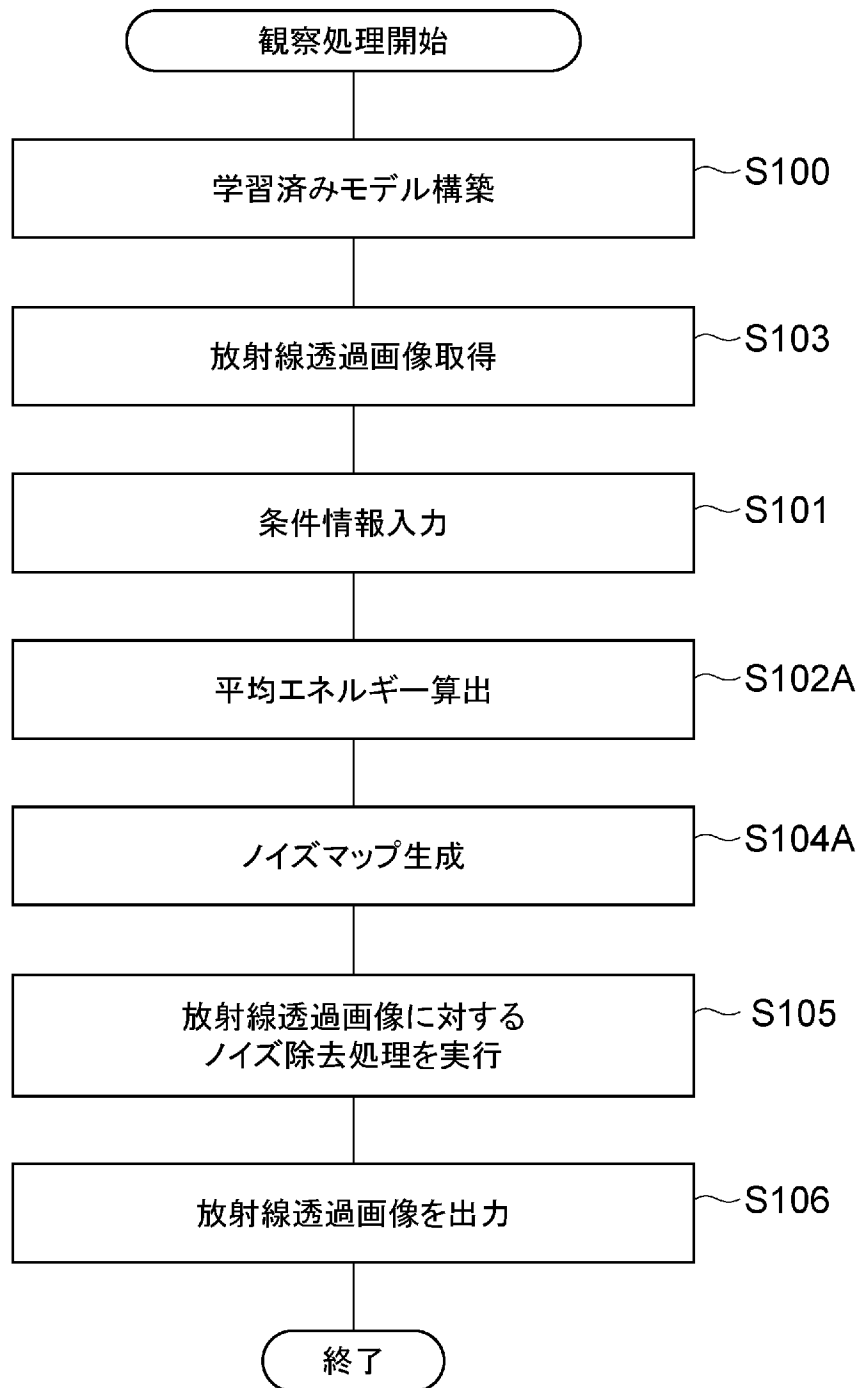
[図10]



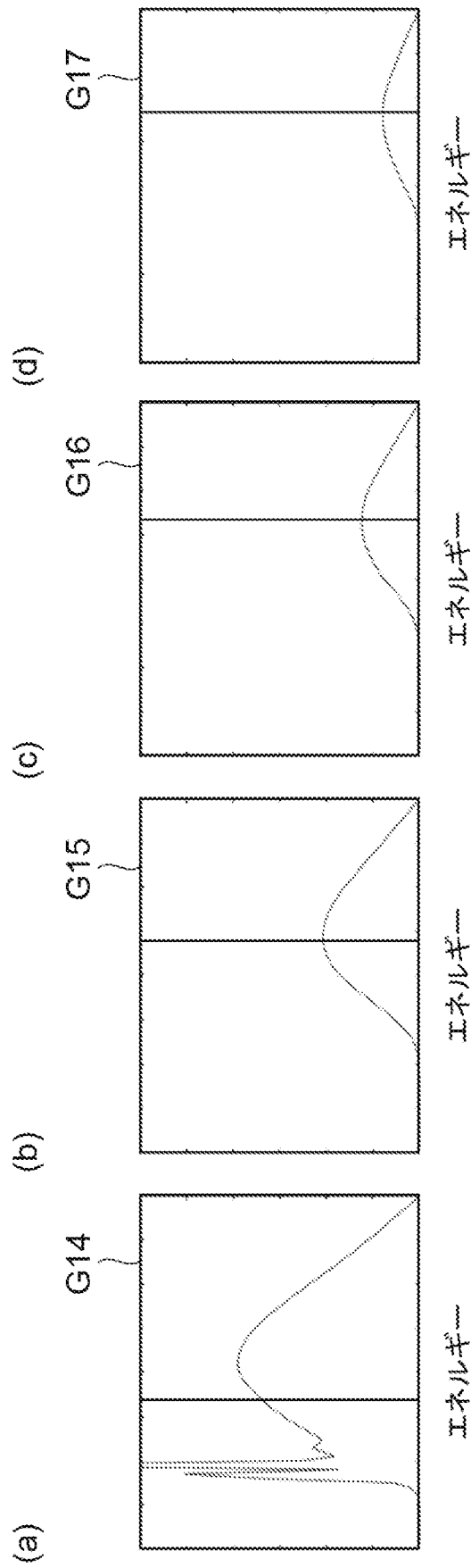
[図11]



[図12]



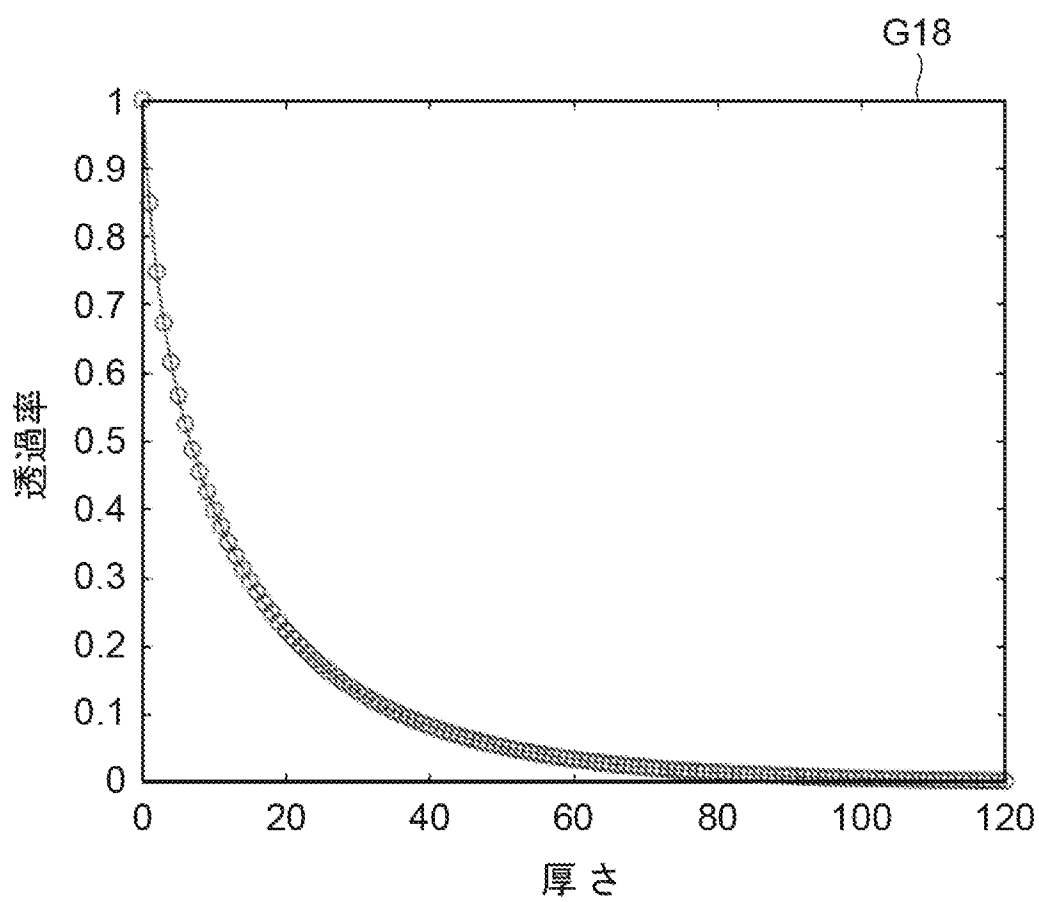
[図13]



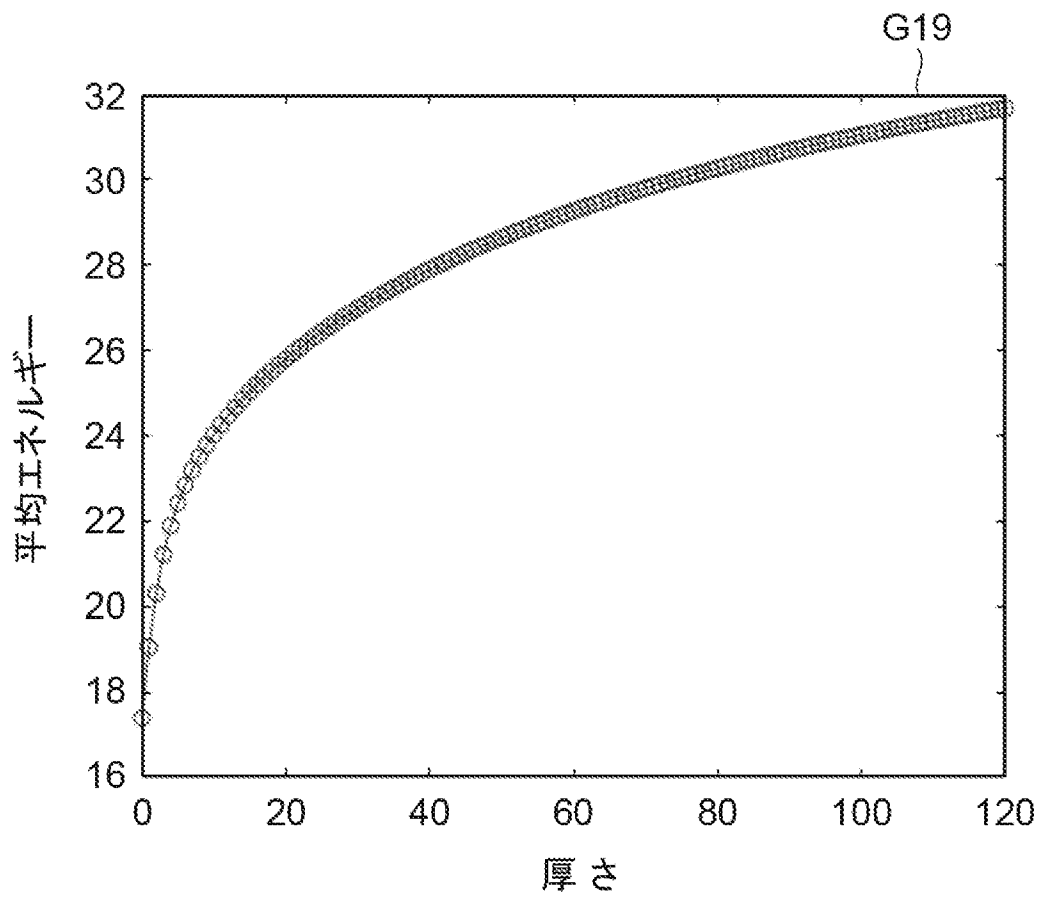
[図14]

スペクトル	G14	G15	G16	G17
厚さ	0mm	10mm	20mm	30mm
平均エネルギー	17keV	24keV	26keV	27keV
透過率	1	0.4	0.2	0.1

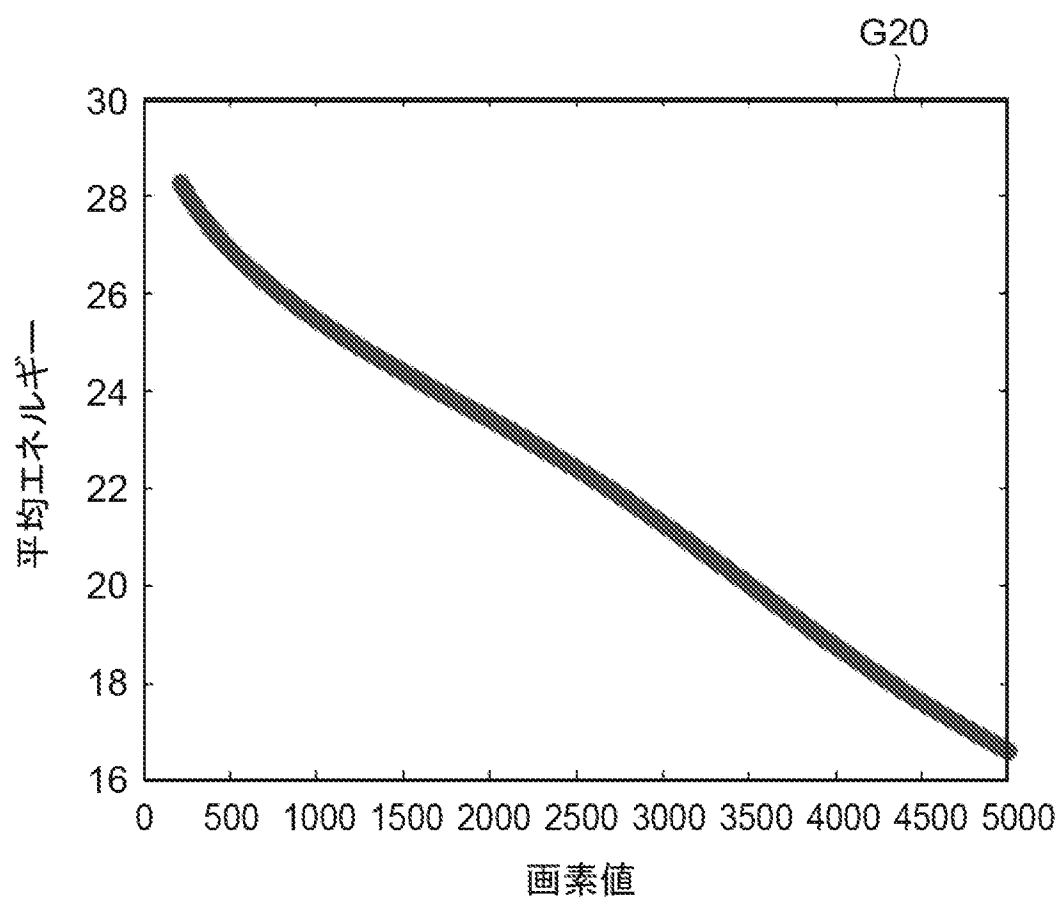
[図15]



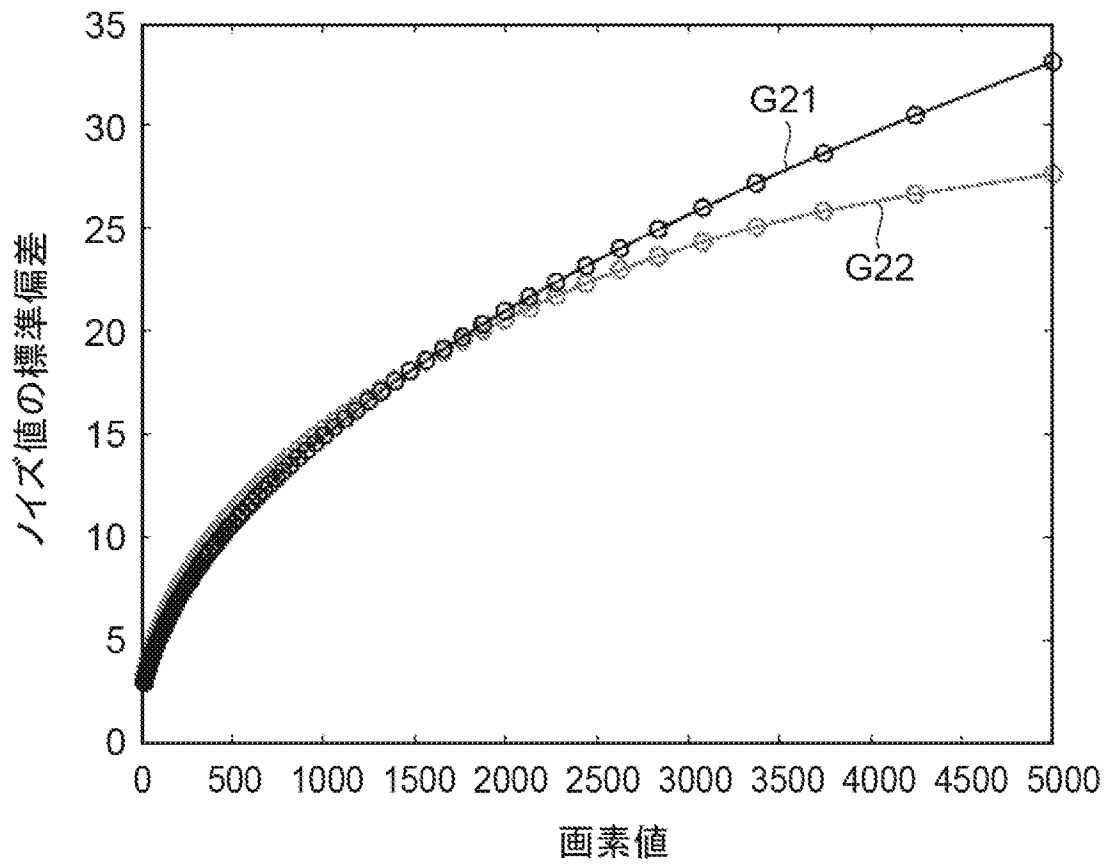
[図16]



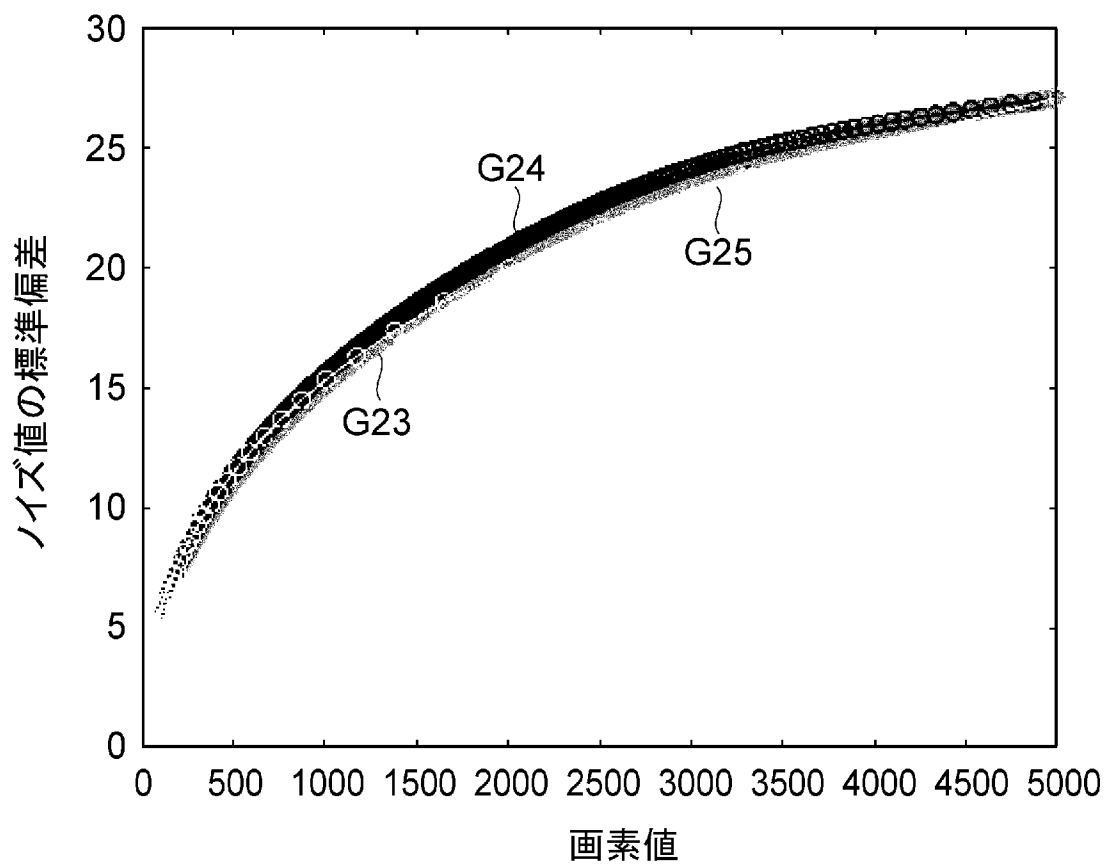
[図17]



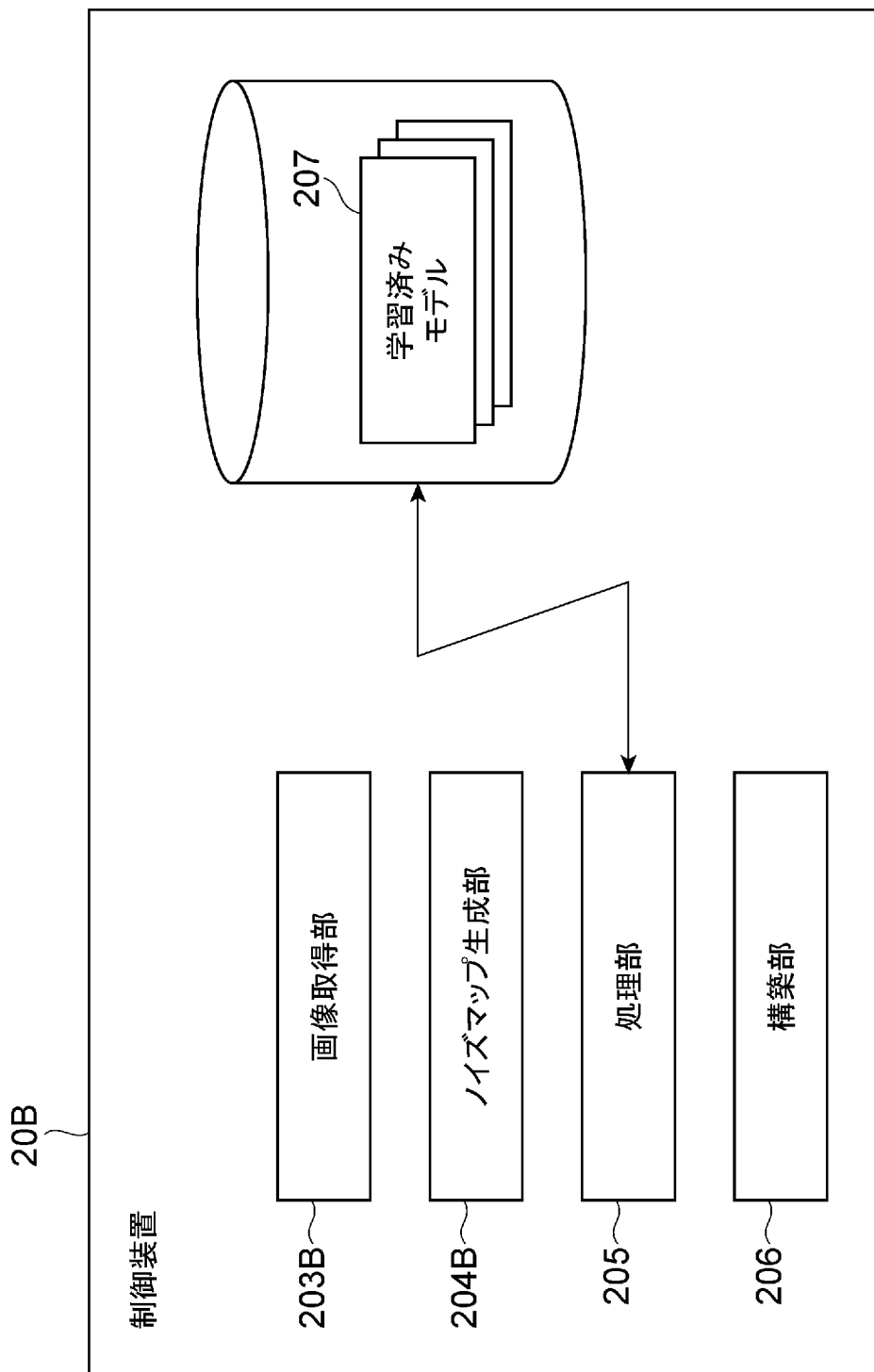
[図18]



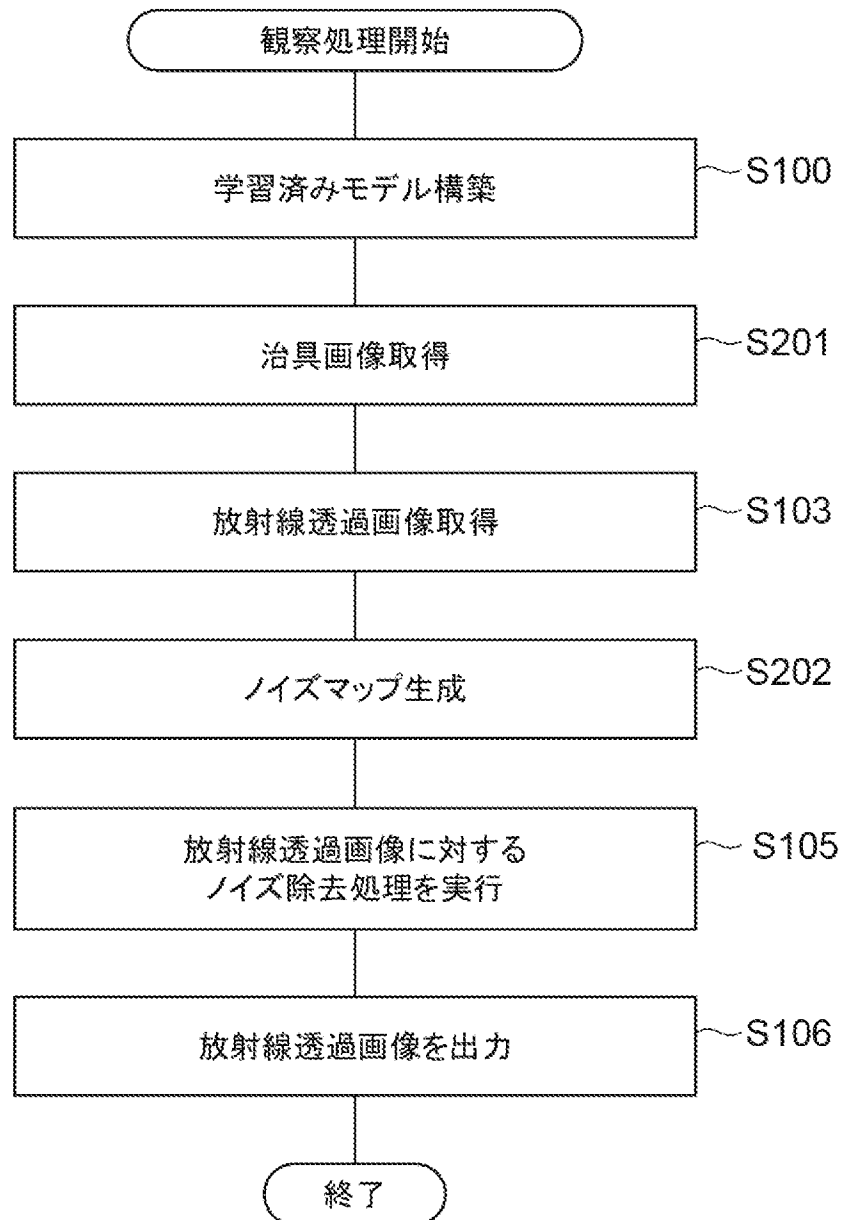
[図19]



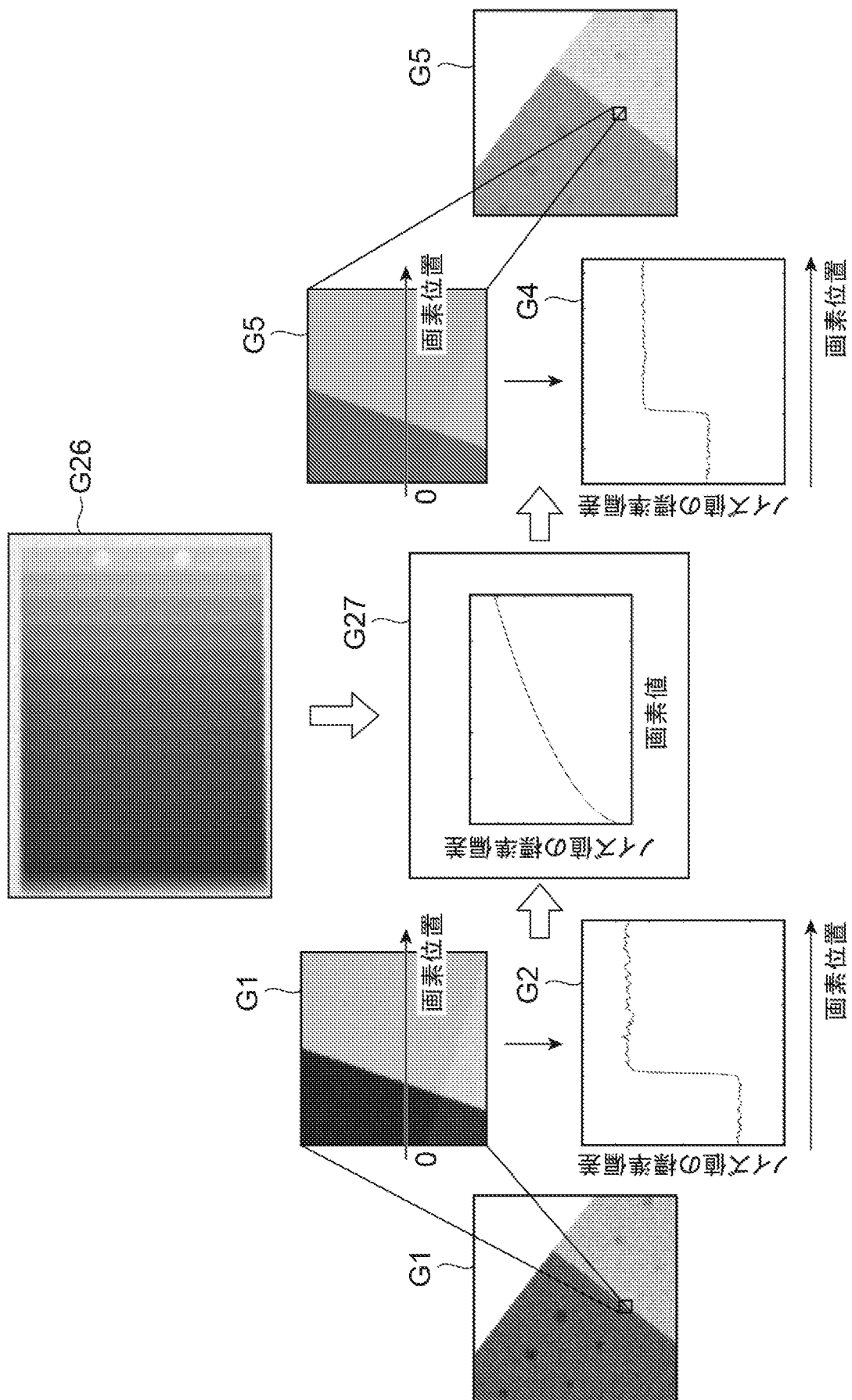
[図20]



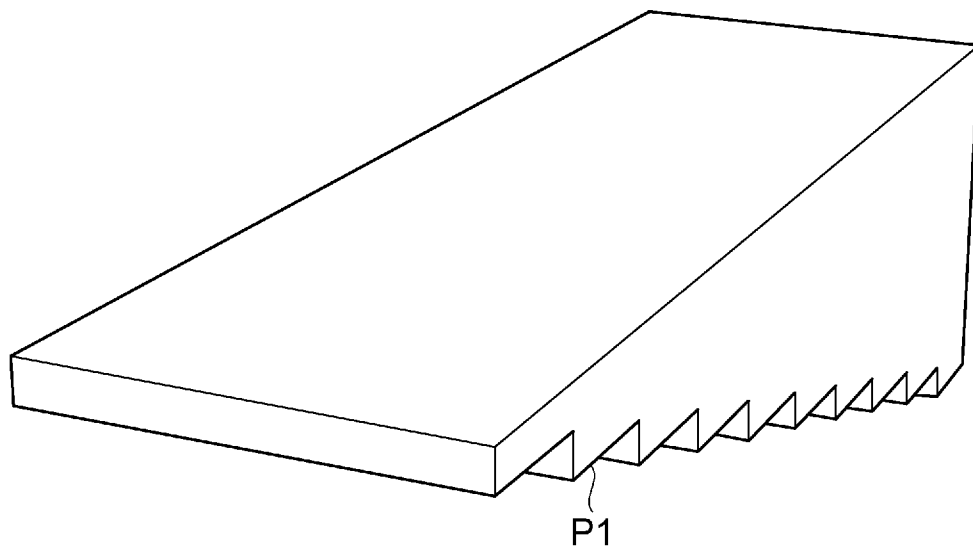
[図21]



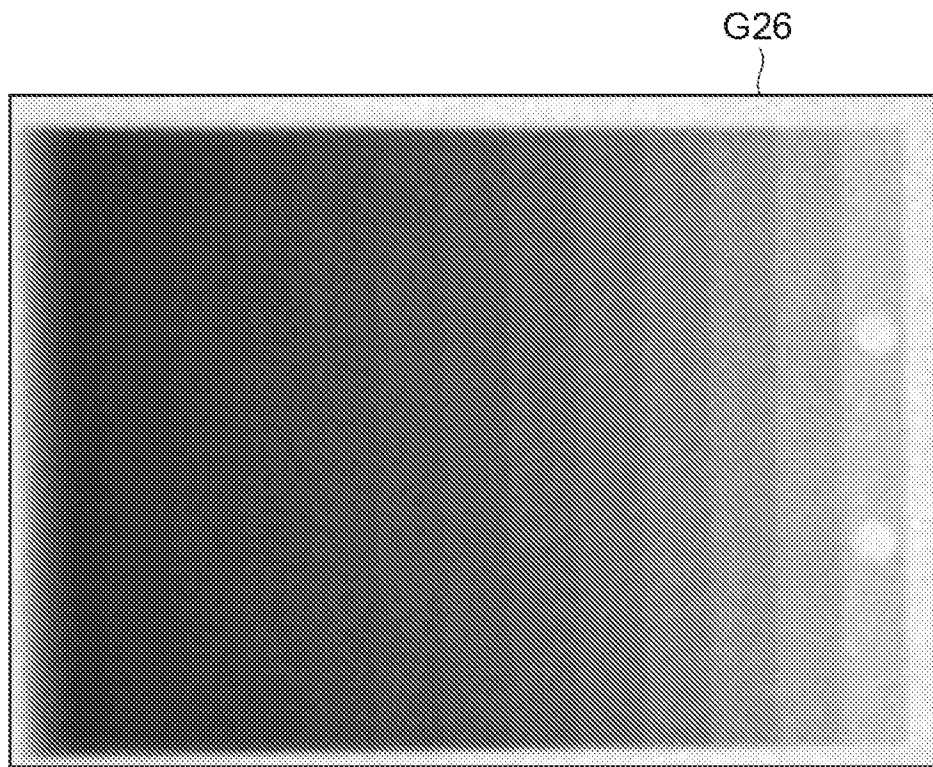
[図22]



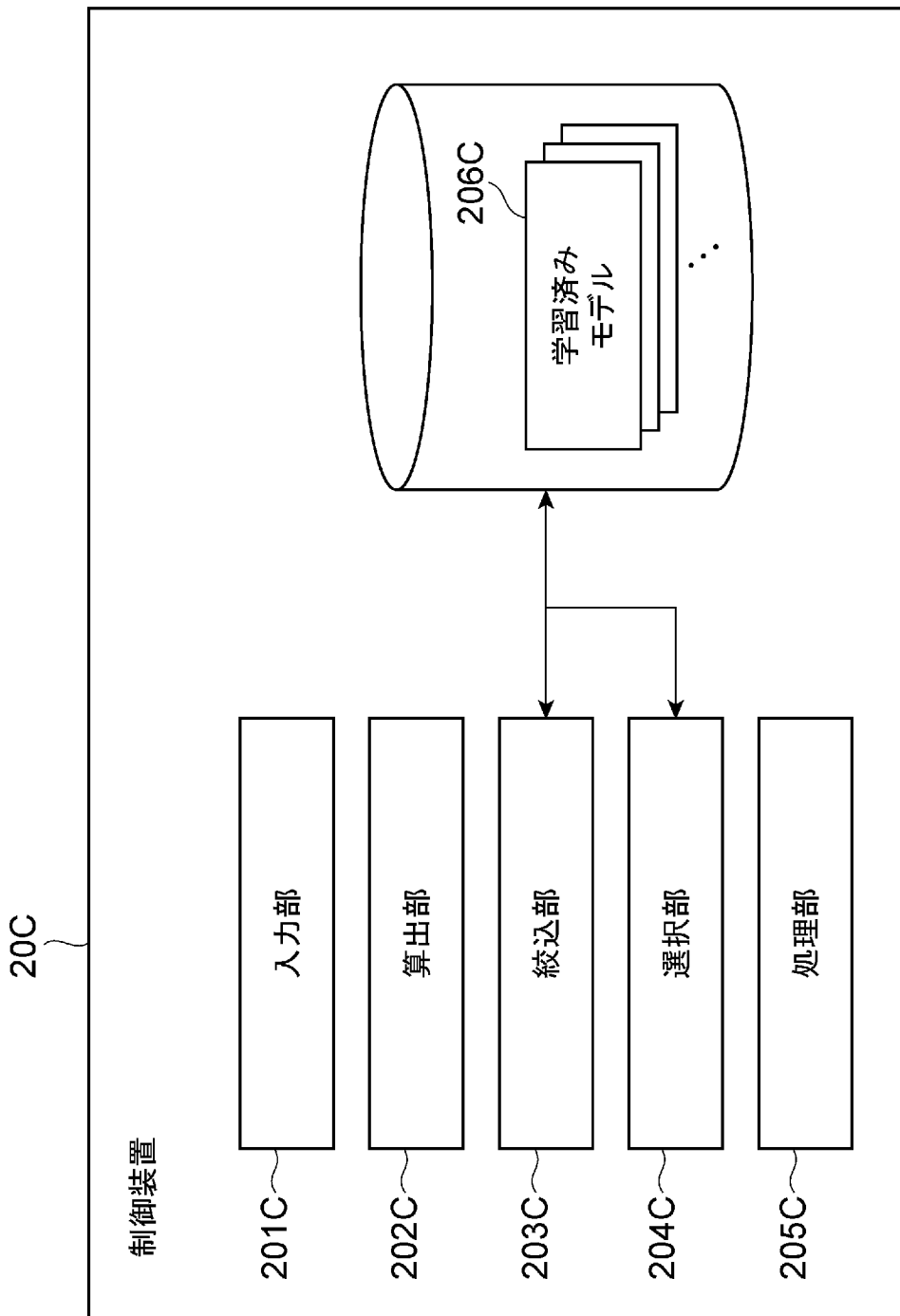
[図23]



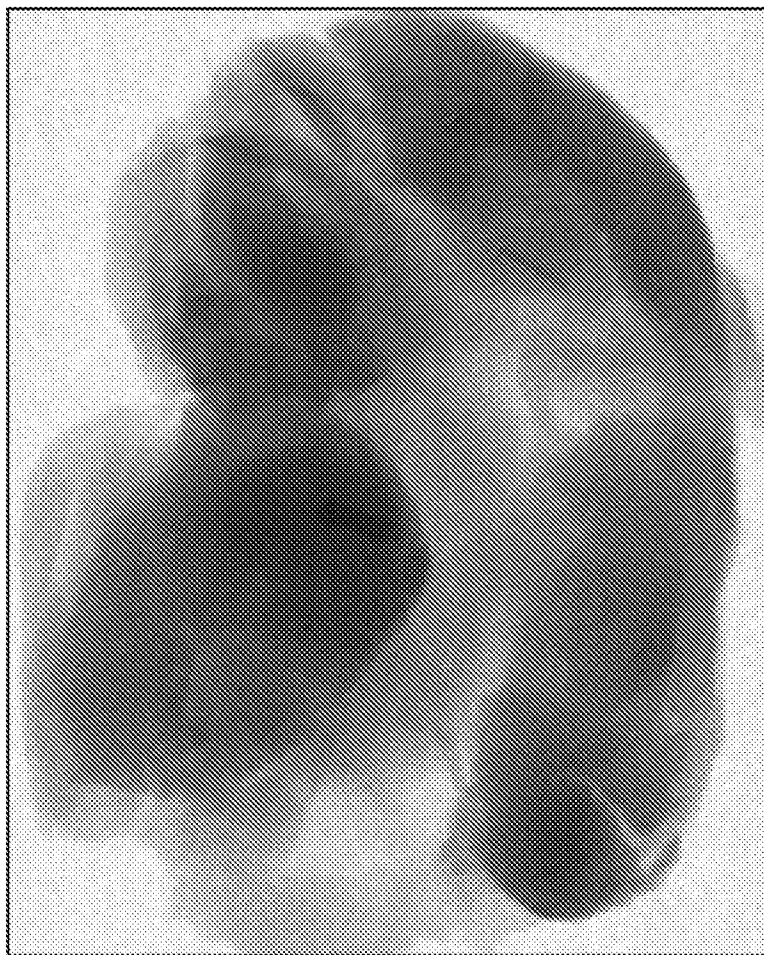
[図24]




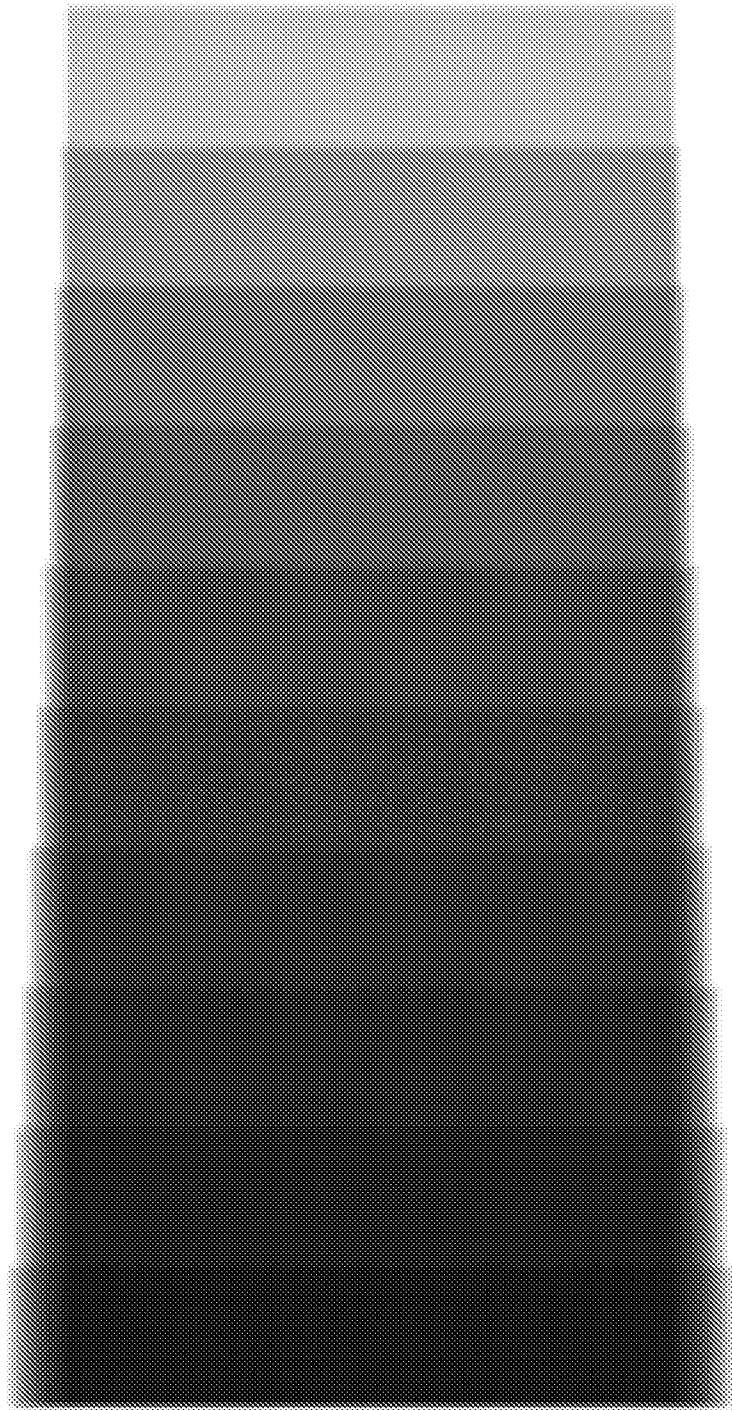
[図25]



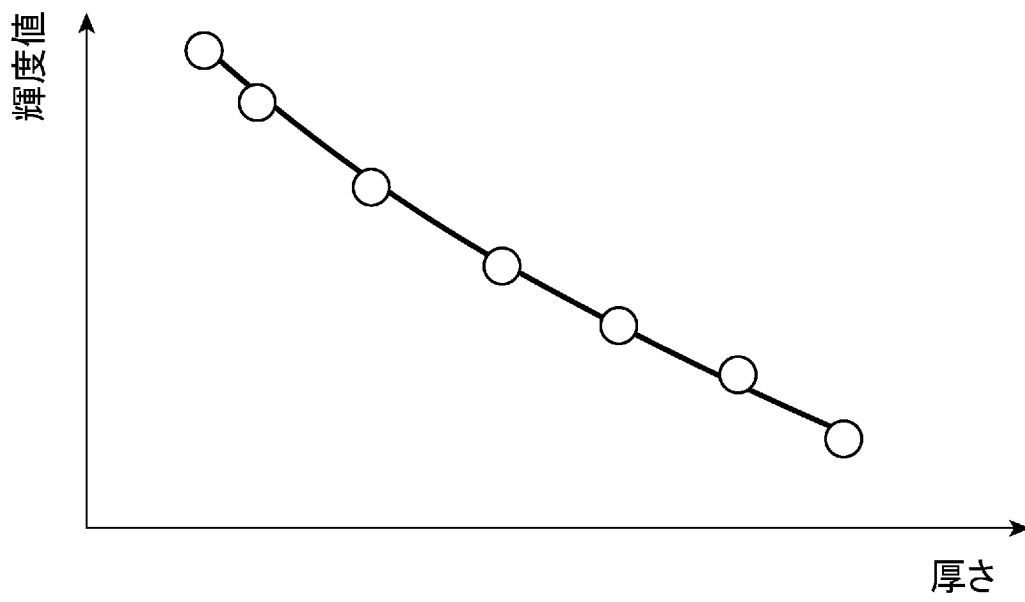
[26]



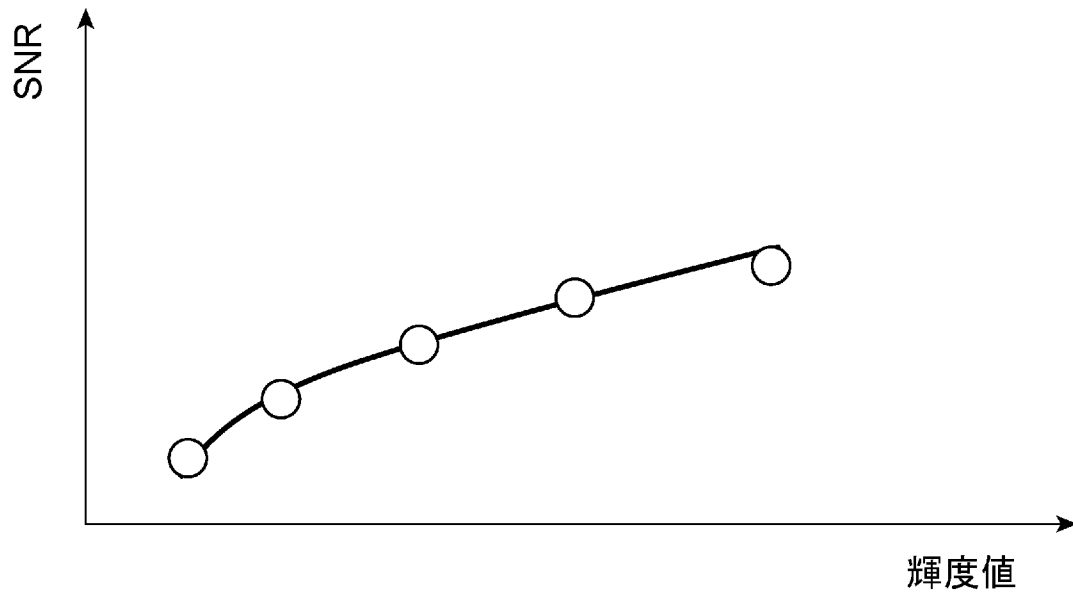
[27]



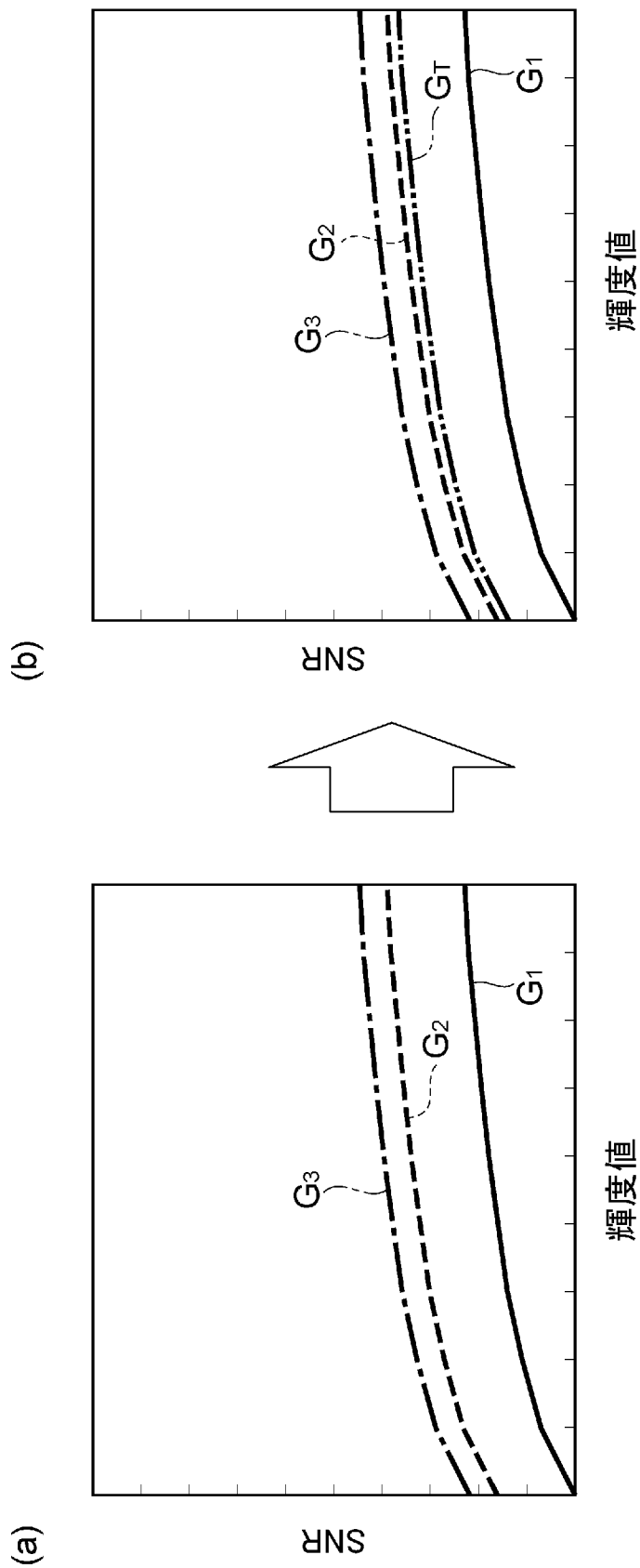
[図28]




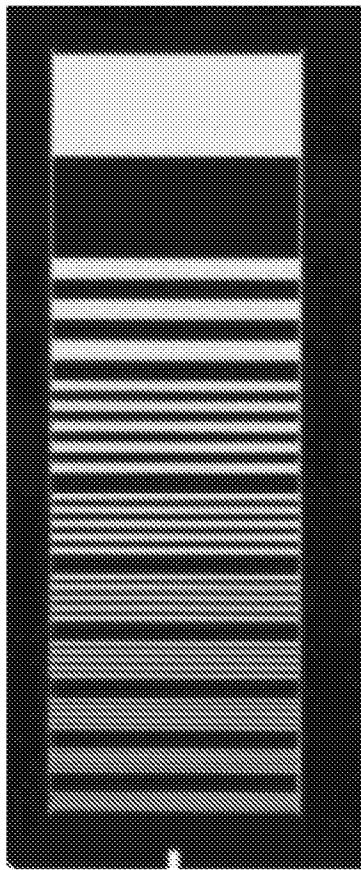
[図29]



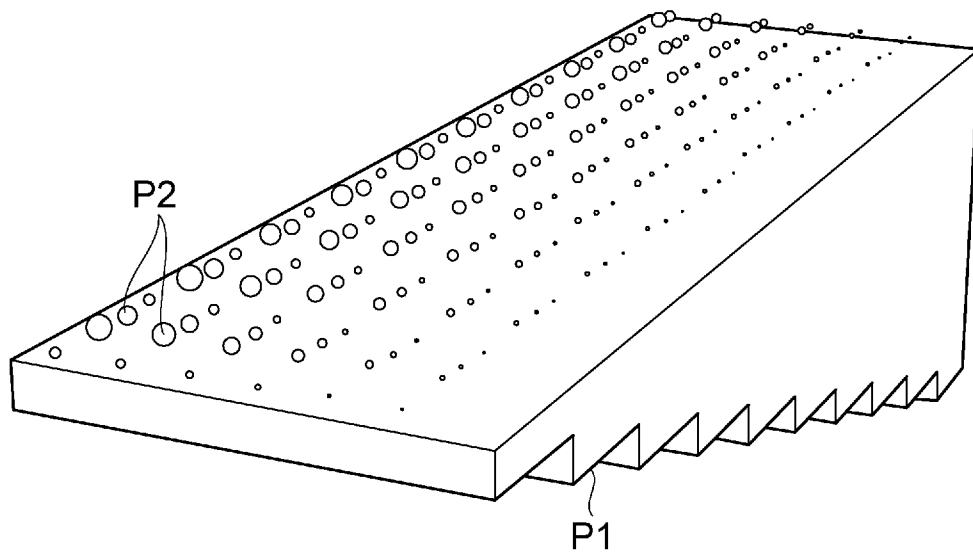
[図30]



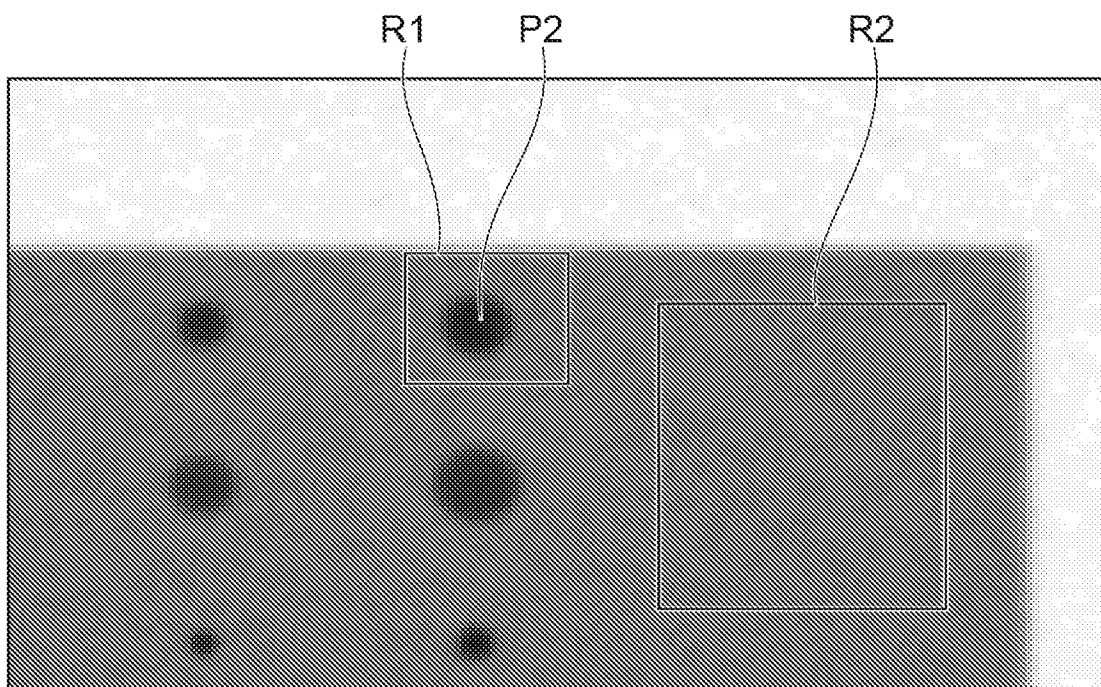
[31]



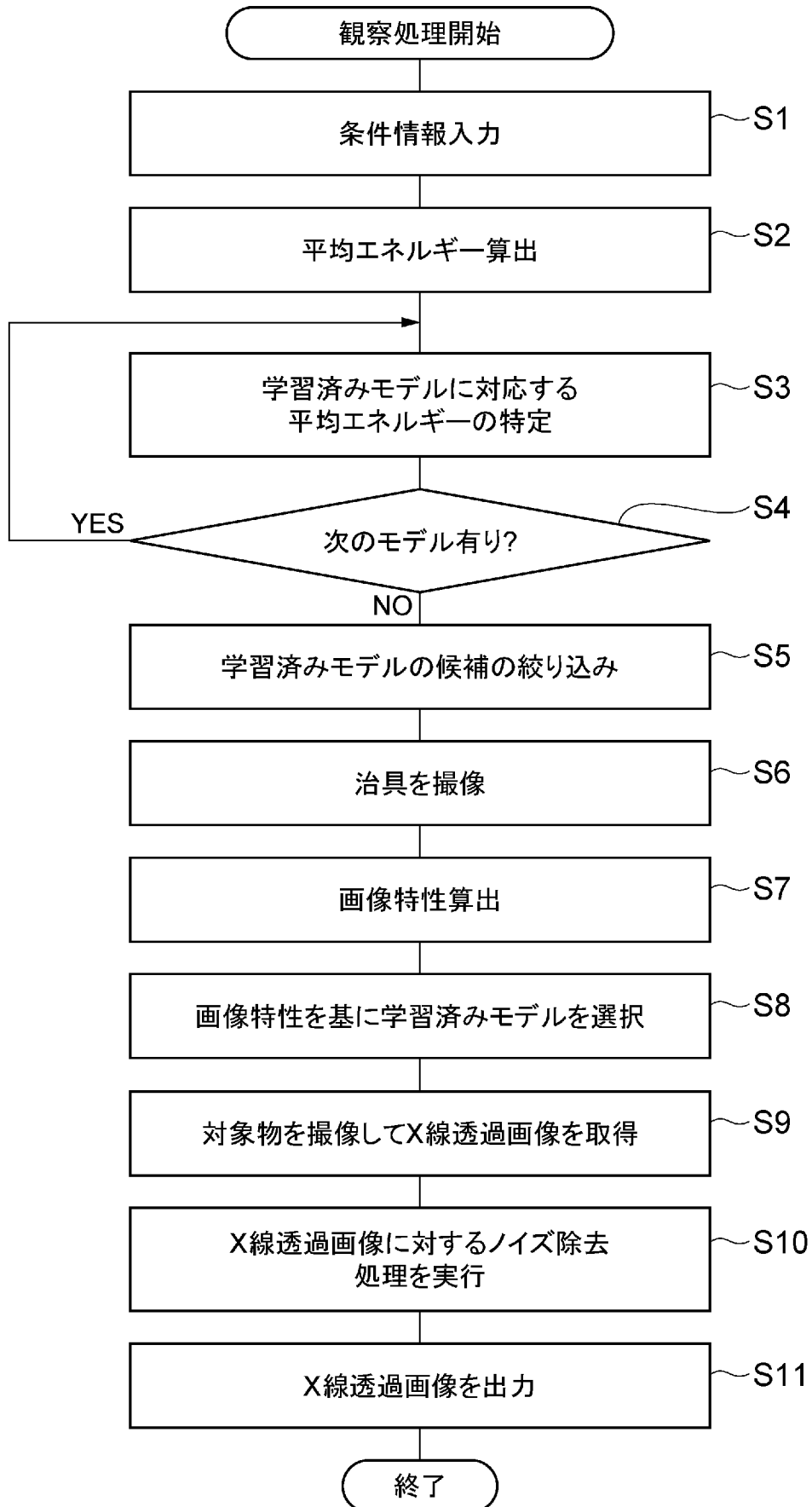
[図32]



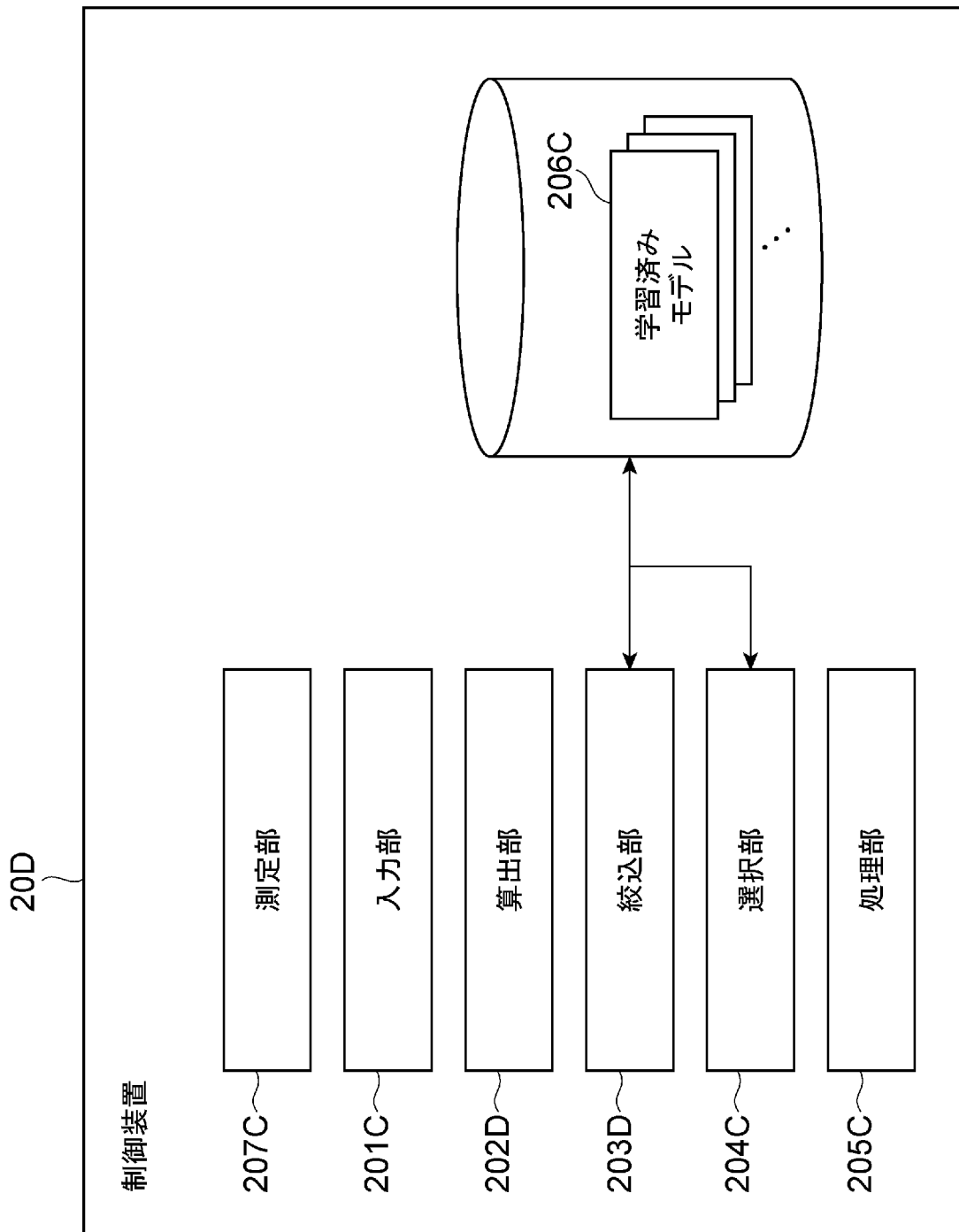
[図33]



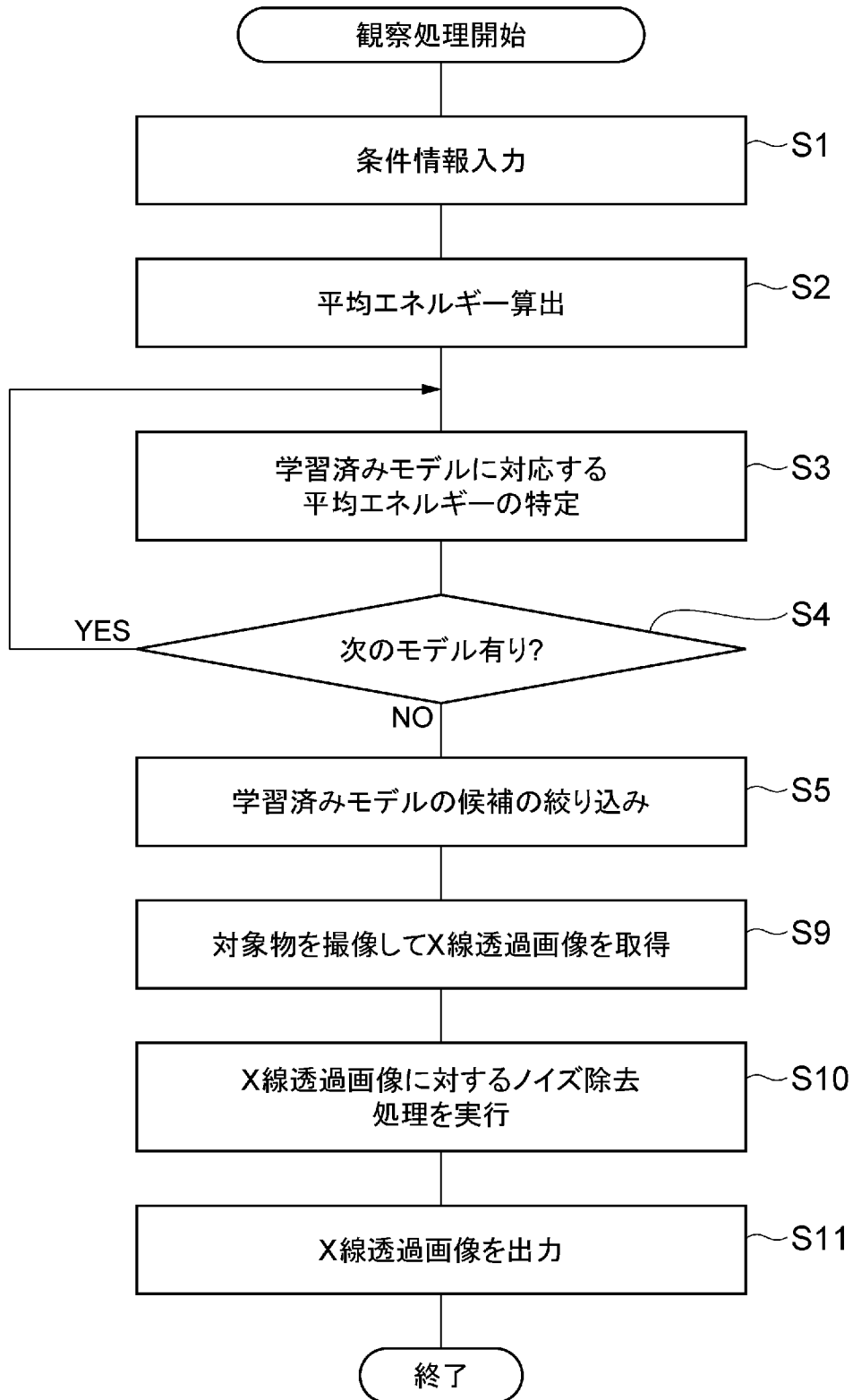
[図34]



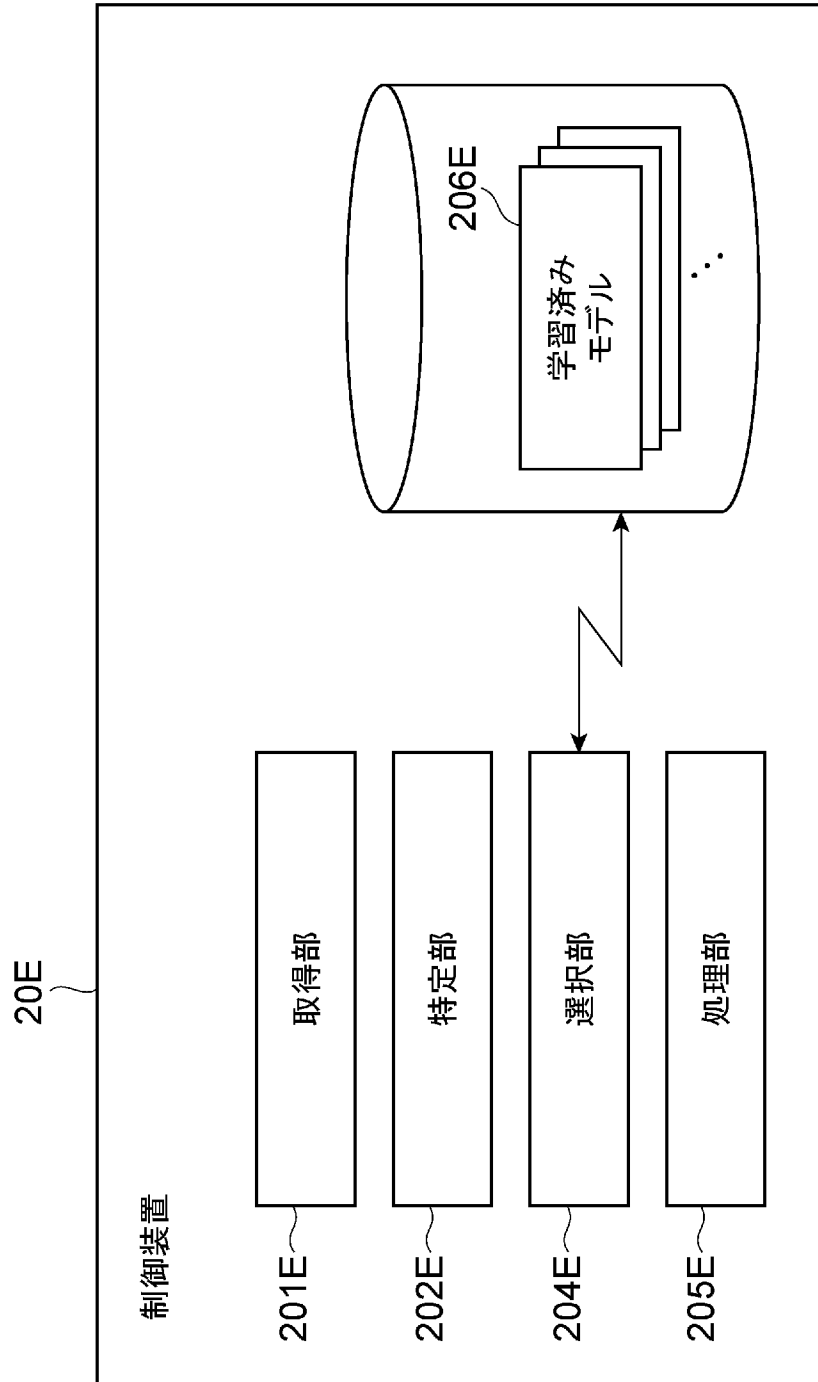
[図35]



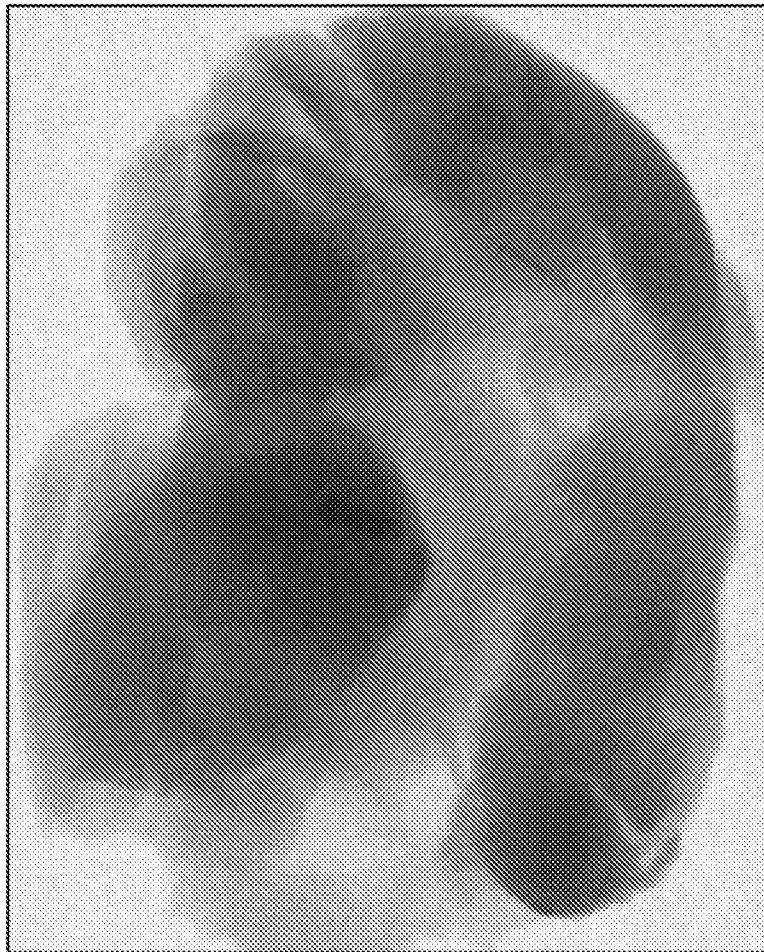
[図36]



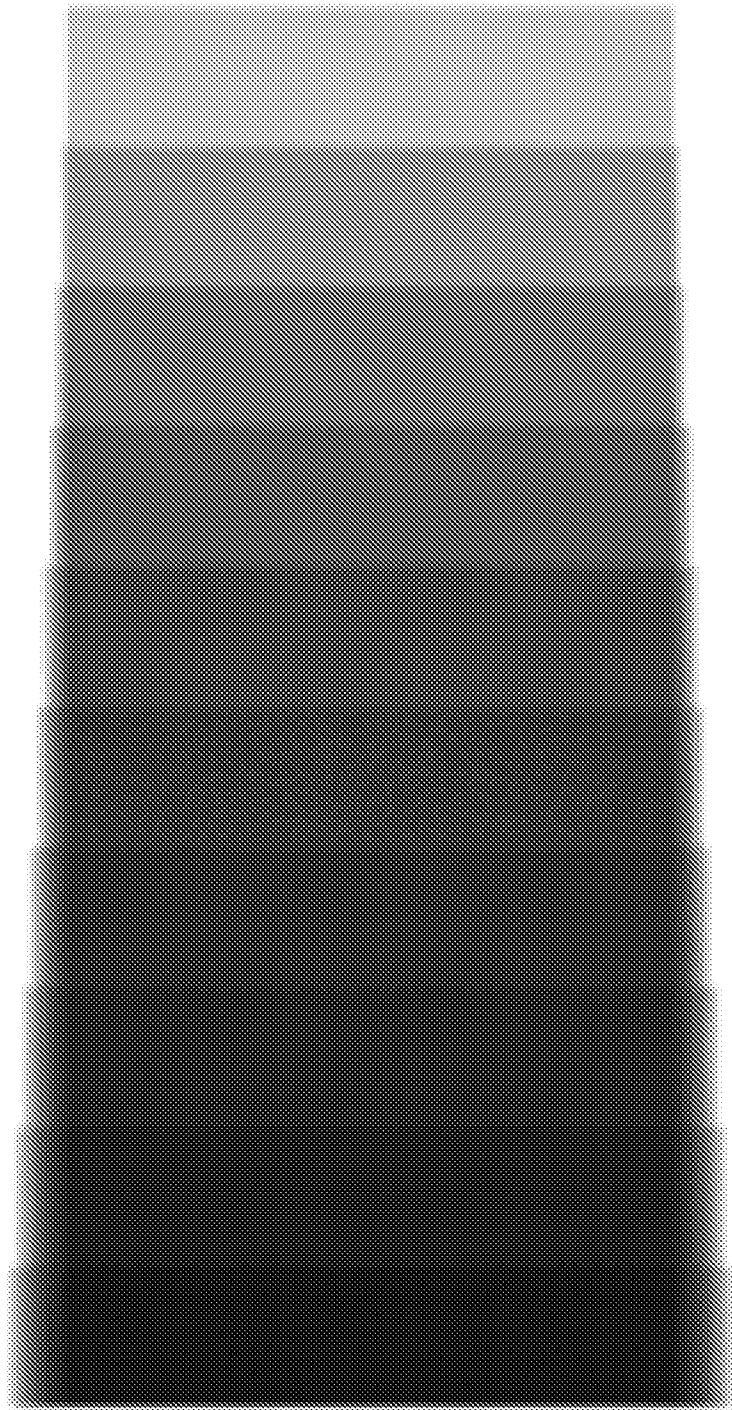
[図37]



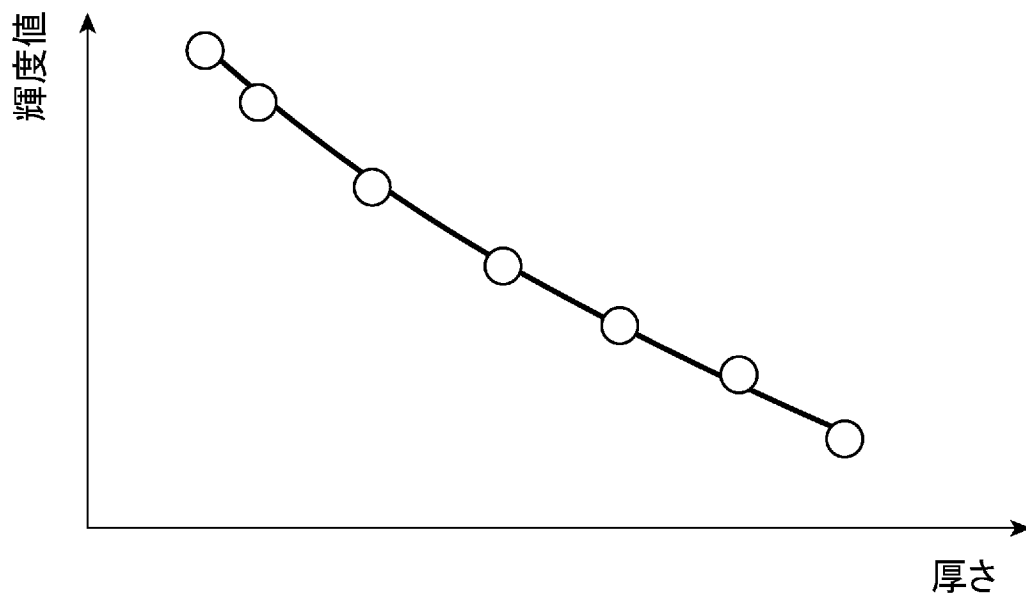
[38]



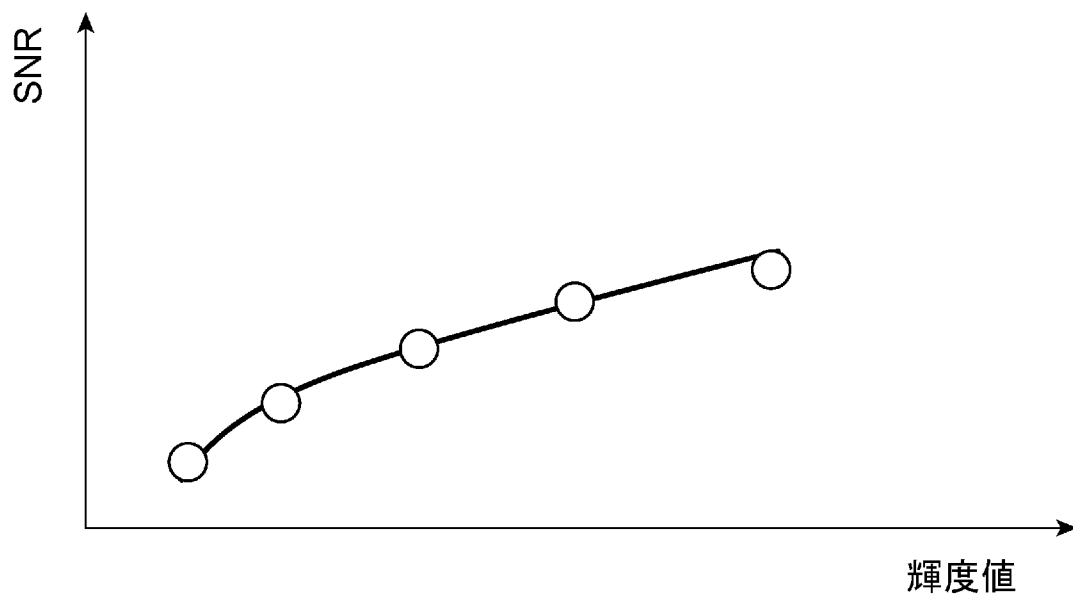
[39]



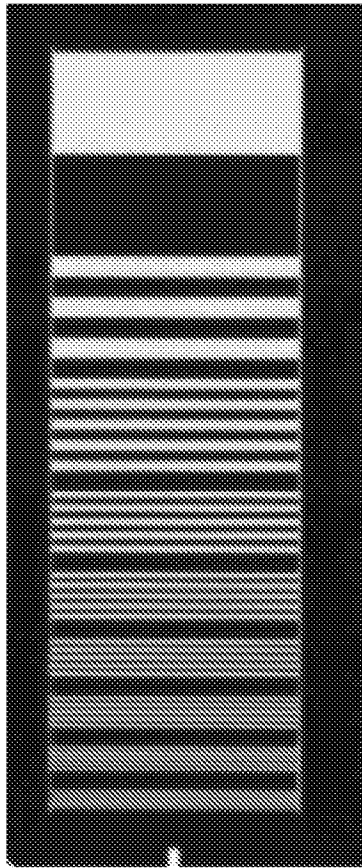
[図40]



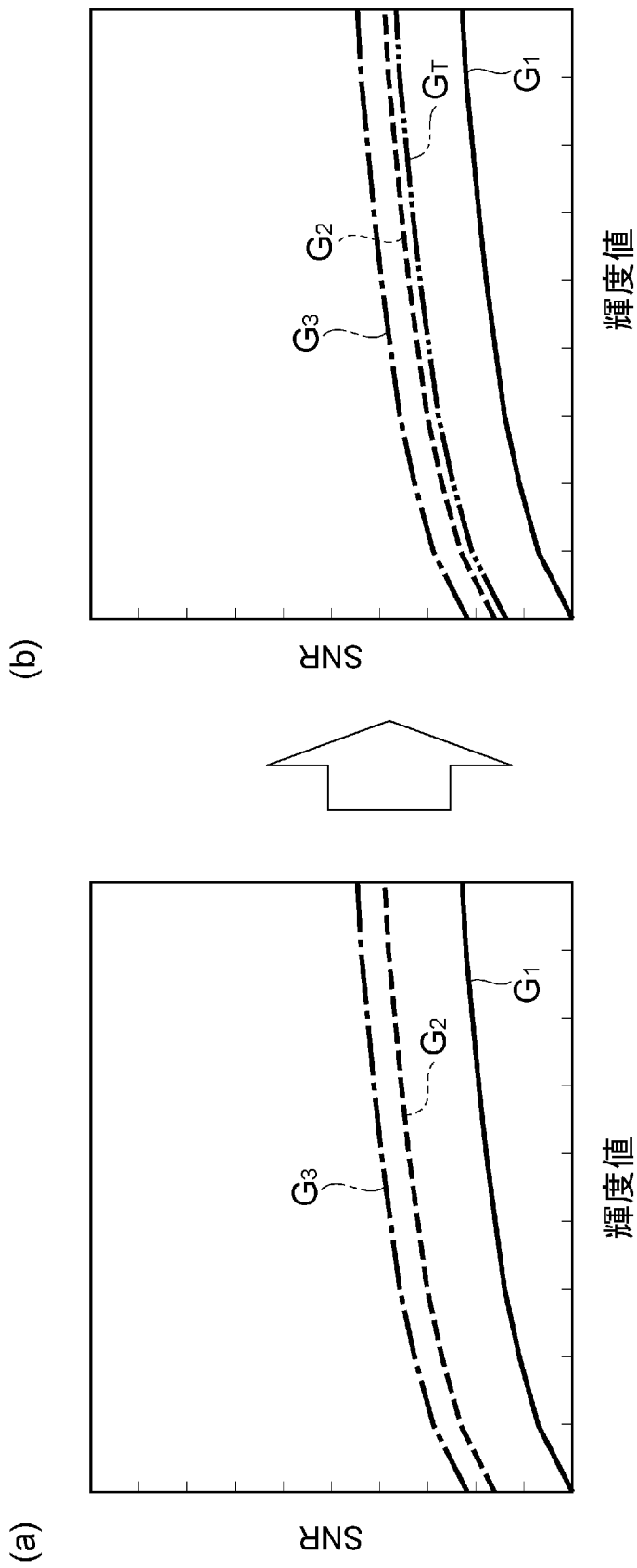
[図41]



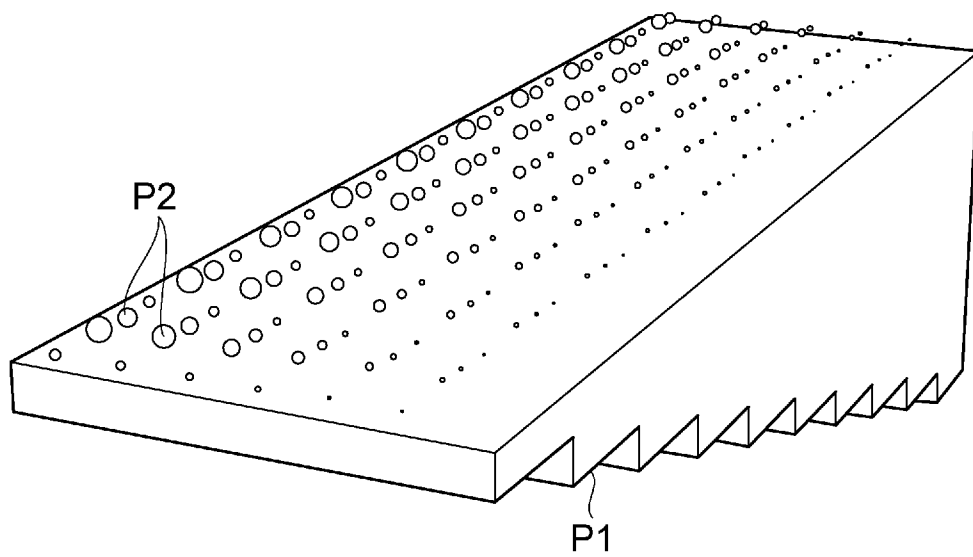
[図42]



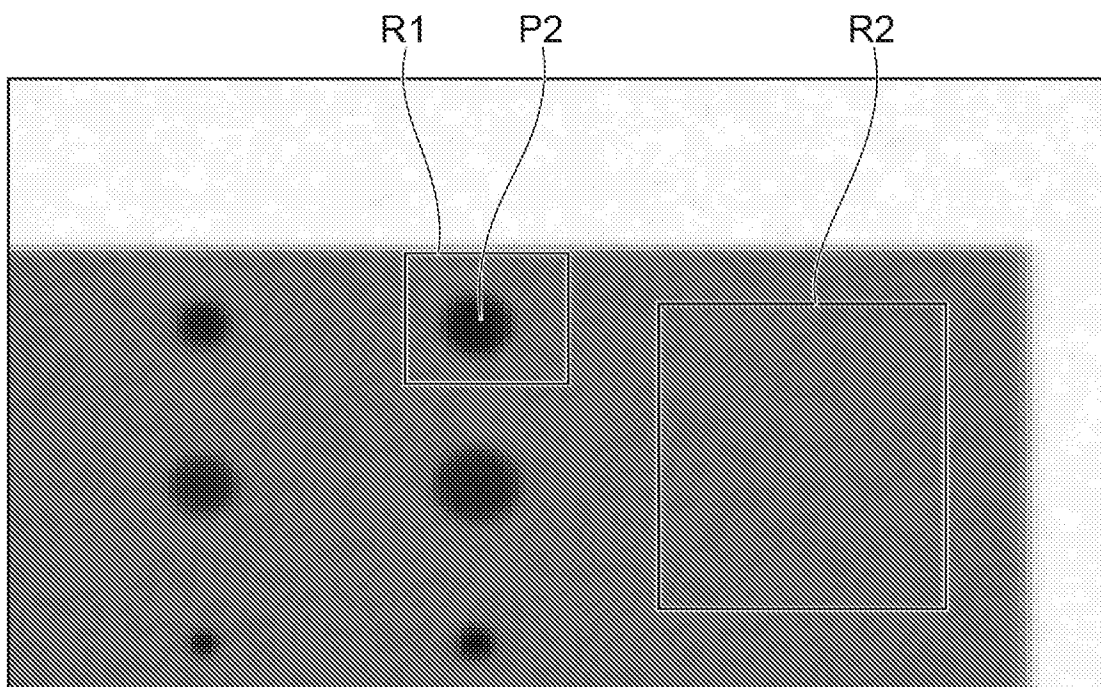
[図43]



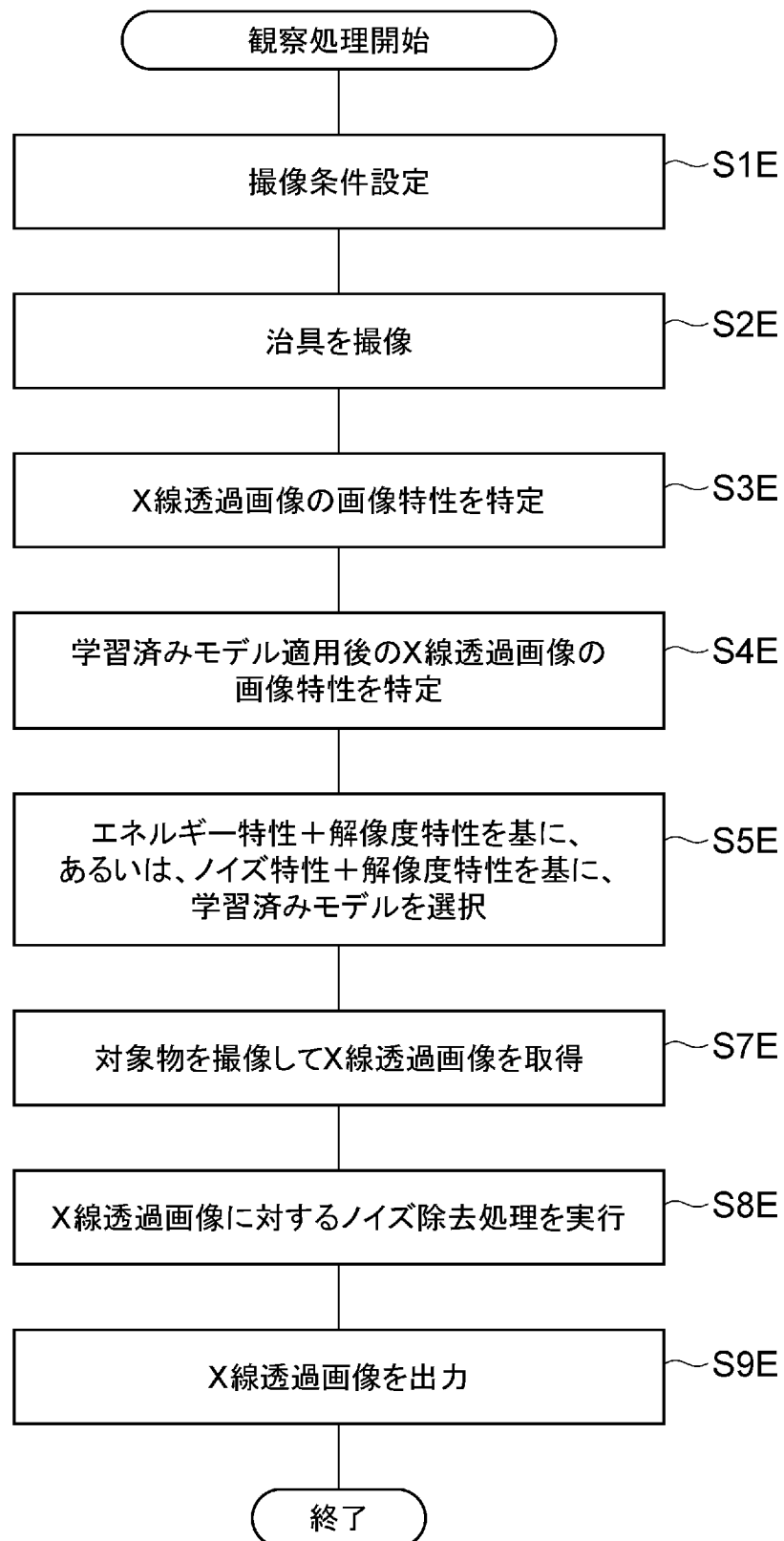
[図44]



[図45]



[図46]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2021/015464

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER		
<i>G01N 23/04</i> (2018.01)i; <i>A61B 6/00</i> (2006.01)i; <i>G01N 23/083</i> (2018.01)i; <i>G06T 5/00</i> (2006.01)i FI: G01N23/04; A61B6/00 350M; G01N23/083; G06T5/00 705		
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) G01N23/00-23/2276; A61B6/00-6/14; G06T1/00-7/90		
Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched Published examined utility model applications of Japan 1922-1996 Published unexamined utility model applications of Japan 1971-2021 Registered utility model specifications of Japan 1996-2021 Published registered utility model applications of Japan 1994-2021		
Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used) JSTPlus/JMEDPlus/JST7580 (JDreamIII)		
C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	WO 2020/031984 A1 (BLUE TAG CO., LTD.) 13 February 2020 (2020-02-13) paragraphs [0026], [0031], [0052], [0053], fig. 1	1-2, 6-8, 12
Y	WO 2019/082276 A1 (SYSTEM SQUARE INC.) 02 May 2019 (2019-05-02) paragraphs [0029]-[0037], fig. 1-3	1-2, 6-8, 12
Y	JP 2018-206382 A (TOSHIBA CORP.) 27 December 2018 (2018-12-27) paragraph [0052]	2, 6, 8, 12
A	JP 2019-208990 A (CANON MEDICAL SYSTEMS CORP.) 12 December 2019 (2019-12-12)	1-12
A	JP 2019-111322 A (CANON MEDICAL SYSTEMS CORP.) 11 July 2019 (2019-07-11)	1-12
A	JP 2013-512024 A (KONINKLIJKE PHILIPS ELECTRONICS N. V.) 11 April 2013 (2013-04-11)	1-12
<input checked="" type="checkbox"/> Further documents are listed in the continuation of Box C. <input checked="" type="checkbox"/> See patent family annex.		
* Special categories of cited documents: “A” document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance “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 23 June 2021		Date of mailing of the international search report 06 July 2021
Name and mailing address of the ISA/JP Japan Patent Office (ISA/JP) 3-4-3 Kasumigaseki, Chiyoda-ku, Tokyo 100-8915 Japan		Authorized officer Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2021/015464

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	JP 2006-318103 A (FUJI PHOTO FILM CO., LTD.) 24 November 2006 (2006-11-24)	1-12
A	JP 2008-229161 A (FUJIFILM CORP.) 02 October 2008 (2008-10-02)	1-12
A	CN 109697476 A (CHONGQING UNIV.) 30 April 2019 (2019-04-30)	1-12

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.

PCT/JP2021/015464

Patent document cited in search report			Publication date (day/month/year)	Patent family member(s)	Publication date (day/month/year)
WO	2020/031984	A1	13 February 2020	(Family: none)	
WO	2019/082276	A1	02 May 2019	US 2020/0241150	A1
				paragraphs [0038]-[0046], fig. 1-3	
				CN 111263882	A
JP	2018-206382	A	27 December 2018	US 2018/0349759	A1
				paragraph [0072]	
				EP 3410392	A1
JP	2019-208990	A	12 December 2019	US 2019/0378270	A1
JP	2019-111322	A	11 July 2019	US 2019/0287674	A1
				WO 2019/124076	A1
JP	2013-512024	A	11 April 2013	US 2012/0224760	A1
				WO 2011/064683	A2
				CN 102667852	A
				KR 10-2012-0116940	A
JP	2006-318103	A	24 November 2006	US 2006/0257047	A1
JP	2008-229161	A	02 October 2008	US 2008/0232667	A1
CN	109697476	A	30 April 2019	(Family: none)	

A. 発明の属する分野の分類（国際特許分類（IPC）） G01N 23/04(2018.01)i; A61B 6/00(2006.01)i; G01N 23/083(2018.01)i; G06T 5/00(2006.01)i FI: G01N23/04; A61B6/00 350M; G01N23/083; G06T5/00 705		
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）） G01N23/00-23/2276; A61B6/00-6/14; G06T1/00-7/90 最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの 日本国実用新案公報 1922-1996年 日本国公開実用新案公報 1971-2021年 日本国実用新案登録公報 1996-2021年 日本国登録実用新案公報 1994-2021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） JSTPlus/JMEDPlus/JST7580 (JDreamII)		
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
Y	WO 2020/031984 A1 (BLUE TAG株式会社) 13.02.2020 (2020-02-13) 段落 [0026]、[0031]、[0052] - [0053]、図1	1-2, 6-8, 12
Y	WO 2019/082276 A1 (株式会社システムスクエア) 02.05.2019 (2019-05-02) 段落 [0029] - [0037]、図1-3	1-2, 6-8, 12
Y	JP 2018-206382 A (株式会社東芝) 27.12.2018 (2018-12-27) 段落 [0052]	2, 6, 8, 12
A	JP 2019-208990 A (キャノンメディカルシステムズ株式会社) 12.12.2019 (2019-12-12)	1-12
A	JP 2019-111322 A (キャノンメディカルシステムズ株式会社) 11.07.2019 (2019-07-11)	1-12
A	JP 2013-512024 A (コーニンクレッカ フィリップス エレクトロニクス エヌ ヴィ) 11.04.2013 (2013-04-11)	1-12
<input checked="" type="checkbox"/> C欄の続きにも文献が列挙されている。 <input checked="" type="checkbox"/> パテントファミリーに関する別紙を参照。		
* 引用文献のカテゴリー “A” 特に関連のある文献ではなく、一般的な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抵触するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの “X” 特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの “Y” 特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの “&” 同一パテントファミリー文献	
国際調査を完了した日 23.06.2021	国際調査報告の発送日 06.07.2021	
名称及びあて先 日本国特許庁 (ISA/JP) 〒100-8915 日本国 東京都千代田区霞が関三丁目4番3号	権限のある職員（特許庁審査官） 越柴 洋哉 2W 4462 電話番号 03-3581-1101 内線 3258	

C. 関連すると認められる文献		
引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求項の番号
A	JP 2006-318103 A (富士写真フイルム株式会社) 24.11.2006 (2006 - 11 - 24)	1-12
A	JP 2008-229161 A (富士フイルム株式会社) 02.10.2008 (2008 - 10 - 02)	1-12
A	CN 109697476 A (CHONGQING UNIVERSITY) 30.04.2019 (2019 - 04 - 30)	1-12

国際調査報告
 パテントファミリーに関する情報

国際出願番号
 PCT/JP2021/015464

引用文献	公表日	パテントファミリー文献	公表日
WO 2020/031984 A1	13.02.2020	(ファミリーなし)	
WO 2019/082276 A1	02.05.2019	US 2020/0241150 A1 段落 [0038] - [0046]、図1-3 CN 111263882 A	
JP 2018-206382 A	27.12.2018	US 2018/0349759 A1 段落 [0072] EP 3410392 A1	
JP 2019-208990 A	12.12.2019	US 2019/0378270 A1	
JP 2019-111322 A	11.07.2019	US 2019/0287674 A1	
		WO 2019/124076 A1	
JP 2013-512024 A	11.04.2013	US 2012/0224760 A1	
		WO 2011/064683 A2 CN 102667852 A KR 10-2012-0116940 A	
JP 2006-318103 A	24.11.2006	US 2006/0257047 A1	
JP 2008-229161 A	02.10.2008	US 2008/0232667 A1	
CN 109697476 A	30.04.2019	(ファミリーなし)	