

(19)日本国特許庁(JP)

(12)特許公報(B2)

(11)特許番号
特許第7546047号
(P7546047)

(45)発行日 令和6年9月5日(2024.9.5)

(24)登録日 令和6年8月28日(2024.8.28)

(51)国際特許分類 F I
G 0 1 N 23/04 (2018.01) G 0 1 N 23/04

請求項の数 11 (全22頁)

(21)出願番号	特願2022-515418(P2022-515418)	(73)特許権者	000236436 浜松ホトニクス株式会社 静岡県浜松市中央区市野町1126番地の1
(86)(22)出願日	令和3年4月14日(2021.4.14)	(74)代理人	100088155 弁理士 長谷川 芳樹
(86)国際出願番号	PCT/JP2021/015488	(74)代理人	100113435 弁理士 黒木 義樹
(87)国際公開番号	WO2021/210617	(74)代理人	100140442 弁理士 柴山 健一
(87)国際公開日	令和3年10月21日(2021.10.21)	(74)代理人	100124800 弁理士 諏澤 勇司
審査請求日	令和5年11月13日(2023.11.13)	(72)発明者	大西 達也 静岡県浜松市東区市野町1126番地の1 浜松ホトニクス株式会社内
(31)優先権主張番号	特願2020-73576(P2020-73576)		
(32)優先日	令和2年4月16日(2020.4.16)		
(33)優先権主張国・地域又は機関	日本国(JP)		

最終頁に続く

(54)【発明の名称】 放射線画像処理方法、学習済みモデル、放射線画像処理モジュール、放射線画像処理プログラム、放射線画像処理システム、及び機械学習方法

(57)【特許請求の範囲】

【請求項1】

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を入力するステップと、

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ステップと、

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、学習済みモデルの候補を絞り込むステップと、

前記候補を用いて前記対象物の放射線画像からノイズを除去する画像処理を実行するステップと、

を備え、

前記絞り込むステップでは、前記平均エネルギーと、前記画像データから特定される平均エネルギーとを比較することにより、前記候補を絞り込む、放射線画像処理方法。

【請求項2】

前記条件情報には、前記発生源の管電圧、前記対象物の撮像に用いるカメラが備えるフィルタの情報、前記発生源が備えるフィルタの情報、前記カメラが備えるシンチレータの情報、前記発生源と撮像装置との間の距離、前記対象物の撮像に用いるX線検出カメラに関する情報、及び前記対象物に関する情報、のいずれか1つが少なくとも含まれる、

請求項1に記載の放射線画像処理方法。

【請求項 3】

放射線を照射して治具を撮像して放射線画像を取得し、当該放射線画像の画像特性に基づいて前記候補から学習済みモデルを選択するステップ、
をさらに備える請求項 1 又は 2 に記載の放射線画像処理方法。

【請求項 4】

前記機械学習はディープラーニングである、
請求項 1 ~ 3 のいずれか 1 項に記載の放射線画像処理方法。

【請求項 5】

請求項 1 ~ 4 のいずれか 1 項に記載の放射線画像処理方法をコンピュータに実行させるプログラムである学習済みモデルであって、

画像データを用いて機械学習によって構築され、前記コンピュータのプロセッサに、前記対象物の放射線画像からノイズを除去する画像処理を実行させる学習済みモデル。

【請求項 6】

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、学習済みモデルの候補を絞り込む絞込部と、

前記候補を用いて前記対象物の放射線画像からノイズを除去する画像処理を実行する処理部と、

を備え、

前記絞込部は、前記平均エネルギーと、前記画像データから特定される平均エネルギーとを比較することにより、前記候補を絞り込む、

放射線画像処理モジュール。

【請求項 7】

前記条件情報には、前記発生源の管電圧、前記対象物の撮像に用いるカメラが備えるフィルタの情報、前記発生源が備えるフィルタの情報、前記カメラが備えるシンチレータの情報、前記発生源と撮像装置との間の距離、前記対象物の撮像に用いる X 線検出カメラに関する情報、及び前記対象物に関する情報、のいずれか 1 つが少なくとも含まれる、

請求項 6 に記載の放射線画像処理モジュール。

【請求項 8】

放射線を照射して治具を撮像して放射線画像を取得し、当該放射線画像の画像特性に基づいて前記候補から学習済みモデルを選択する選択部、

をさらに備える請求項 6 又は 7 に記載の放射線画像処理モジュール。

【請求項 9】

前記機械学習はディープラーニングである、

請求項 6 ~ 8 のいずれか 1 項に記載の放射線画像処理モジュール。

【請求項 10】

プロセッサを、

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、

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、

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、学習済みモデルの候補を絞り込む絞込部、及び

前記候補を用いて前記対象物の放射線画像からノイズを除去する画像処理を実行する処理部、

として機能させ、

前記絞込部は、前記平均エネルギーと、前記画像データから特定される平均エネルギー

10

20

30

40

50

とを比較することにより、前記候補を絞り込む、放射線画像処理プログラム。

【請求項 11】

請求項 6～8 のいずれか 1 項に記載の放射線画像処理モジュールと、前記対象物に放射線を照射する前記発生源と、前記対象物を透過した放射線を撮像して前記放射線画像を取得する撮像装置と、を備える放射線画像処理システム。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

実施形態の一側面は、放射線画像処理方法、学習済みモデル、放射線画像処理モジュール、放射線画像処理プログラム、放射線画像処理システム、及び機械学習方法に関する。

【背景技術】

【0002】

従来から、画像データを対象にディープラーニング等の機械学習による学習済みモデルを用いたノイズ除去を行う手法が知られている（例えば、下記特許文献 1 参照）。この手法によれば、画像データからのノイズが自動的に除去されるので対象物を精度よく観察することができる。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0003】

【文献】特開 2019 - 91393 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の手法においては、X線等の放射線を対象物に透過させることによって生成された放射線画像を対象とした場合にノイズの除去が十分でない場合があった。例えば、X線源等の放射線発生源の条件、用いるフィルタの種類等の条件によって、画像における輝度とノイズとの関係が変動しやすく、ノイズが効果的に除去できない傾向にあった。

【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ノイズを効果的に除去できる放射線画像処理方法、学習済みモデル、放射線画像処理モジュール、放射線画像処理プログラム、放射線画像処理システム、及び機械学習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処理方法は、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を入力するステップと、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ステップと、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、学習済みモデルの候補を絞り込むステップと、を備える。

【0007】

あるいは、実施形態の他の側面に係る学習済みモデルは、上記の放射線画像処理方法に用いる学習済みモデルであって、画像データを用いて機械学習によって構築され、プロセッサに、対象物の放射線画像からノイズを除去する画像処理を実行させる。

【0008】

あるいは、実施形態の他の側面に係る放射線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

10

20

30

40

50

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、学習済みモデルの候補を絞り込む絞込部と、を備える。

【0009】

あるいは、実施形態の他の側面に係る放射線画像処理プログラムは、プロセッサを、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、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、及び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、学習済みモデルの候補を絞り込む絞込部、として機能させる。

10

【0010】

あるいは、実施形態の他の側面に係る放射線画像処理システムは、上記の放射線画像処理モジュールと、対象物に放射線を照射する発生源と、対象物を透過した放射線を撮像して放射線画像を取得する撮像装置と、を備える。

【0011】

あるいは、実施形態の他の側面に係る機械学習方法は、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を基に算出された平均エネルギーであって、対象物を透過した放射線に関する平均エネルギーに対応する対象物の放射線画像である訓練画像を訓練データとして用いて、訓練画像を基にノイズが除去された画像データを出力する学習済みモデルを、機械学習によって構築する構築ステップ、を備える。

20

【0012】

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。

30

【発明の効果】

【0013】

実施形態によれば、対象物の放射線画像におけるノイズを効果的に除去できる。

【図面の簡単な説明】

【0014】

【図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3】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4】図3の学習済みモデル206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。

40

【図5】図3の学習済みモデル206の構築に用いられる教師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6】図3の選択部204の解析対象のX線透過画像の一例を示す図である。

【図7】図3の選択部204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8】図3の選択部204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9】図3の選択部204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10】図3の選択部204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11】図3の選択部204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

50

例を示す斜視図である。

【図 1 2】図 1 1 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 1 3】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 1 4】画像取得装置 1 によって取得されたノイズ除去処理の前後の X 線透過画像の例を示す図である。

【図 1 5】画像取得装置 1 によって取得されたノイズ除去処理の前後の X 線透過画像の例を示す図である。

【図 1 6】本開示の変形例に係る制御装置 2 0 A の機能構成を示すブロック図である。

【図 1 7】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。

10

【発明を実施するための形態】

【0015】

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。

【0016】

図 1 は、本実施形態に係る放射線画像処理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 T D 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（搬送手段）6 0 と、X 線照射器（放射線発生源）5 0 と、X 線検出力カメラ（撮像装置）1 0 と、制御装置（放射線画像処理モジュール）2 0 と、表示装置 3 0 と、各種入力を行うための入力装置 4 0 と、を備えて構成されている。なお、本発明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。

20

【0017】

ベルトコンベア 6 0 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 T D 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 T D に搬送する。対象物 F の搬送速度は、例えば 4 8 m / 分である。ベルトコンベア 6 0 は、必要に応じて、搬送速度を、例えば 2 4 m / 分や、9 6 m / 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 6 0 は、ベルト部の高さ位置を適宜変更し、X 線照射器 5 0 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 6 0 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 5 0 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 5 0 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 5 0 は、X 線の照射方向がベルトコンベア 6 0 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 T D と交差する方向）全体に及ぶように、ベルトコンベア 6 0 から所定の距離を離れてベルトコンベア 6 0 の上方に配置されている。また、X 線照射器 5 0 は、対象物 F の長さ方向（搬送方向 T D 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 6 0 にて搬送方向 T D 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 5 0 は、制御装置 2 0 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 6 0 に向けて照射する。また、X 線照射器 5 0 のベルトコンベア 6 0 側の近傍には、X 線の所定波長域を透過させるフィルタ 5 1 が設けられている。

30

40

【0018】

50

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線に基づく信号を出力する。X線検出カメラ10は、X線を検出する構成が2組配置されたデュアルラインX線カメラである。本実施形態に係る画像取得装置1では、デュアルラインX線カメラのそれぞれのライン（第1のライン及び第2のライン）で検出されたX線に基づき、それぞれX線透過画像が生成される。そして、生成された2つのX線透過画像について、平均処理又は加算処理等を行うことによって、1つのラインで検出されたX線に基づきX線透過画像を生成する場合と比べて、少ないX線量で鮮明な（輝度の大きい）画像を取得することができる。

【0019】

X線検出カメラ10は、フィルタ19、シンチレータ11a、11bと、ラインスキャンカメラ12a、12bと、センサ制御部13と、アンプ14a、14bと、AD変換器15a、15bと、補正回路16a、16bと、出力インターフェース17a、17bと、アンプ制御部18と、を有している。シンチレータ11a、ラインスキャンカメラ12a、アンプ14a、AD変換器15a、補正回路16a、及び出力インターフェース17aはそれぞれ電氣的に接続されており、第1のラインに係る構成である。また、シンチレータ11b、ラインスキャンカメラ12b、アンプ14b、AD変換器15b、補正回路16b、及び出力インターフェース17bはそれぞれ電氣的に接続されており、第2のラインに係る構成である。第1のラインのラインスキャンカメラ12aと、第2のラインのラインスキャンカメラ12bとは、搬送方向TDに沿って並んで配置されている。なお、以下では、第1のラインと第2のラインとで共通する構成については、第1のラインの構成を代表して説明する。

【0020】

シンチレータ11aは、ラインスキャンカメラ12a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11aは、シンチレーション光をラインスキャンカメラ12a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11aに向けて透過させる。

【0021】

ラインスキャンカメラ12aは、シンチレータ11a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14aに出力する。ラインスキャンカメラ12aは、搬送方向TDと交差する方向に並列した複数のラインセンサを有している。ラインセンサは、例えばCCD（Charge Coupled Device）イメージセンサやCMOS（Complementary Metal-Oxide Semiconductor）イメージセンサ等であり、複数のフォトダイオードを含んでいる。

【0022】

センサ制御部13は、ラインスキャンカメラ12a、12b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、ラインスキャンカメラ12a、12b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、例えば、ラインスキャンカメラ12a、12b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とラインスキャンカメラ12a、12bとの距離（FDD（Focus Detector Distance：線源センサ間距離））に基づいて、ラインスキャンカメラ12a、12b共通の周期が設定されてもよい。また、所定の周期は、ラインスキャンカメラ12a、12bそれぞれのラインセンサの画素配列方向と直交する方向のフォトダイオードの画素幅に基づいて、それぞれ個別に設定されてもよい。この場合には、ラインスキャンカメラ12a、12b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）、並びに、X線照射器50とラインスキャンカメラ12a、12bとの距離（FDD）に応じて、ラインスキャンカメラ12a、12b間の検出周期のズレ（遅延時間）を特定し、それぞれ個別の周期が設定されてもよい。アンプ14a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AD変換器15aに出力する。設定増幅率は、アンプ制御部18によって設定

10

20

30

40

50

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 a , 14 b の設定増幅率を設定する。

【0023】

A/D変換器 15 a は、アンプ 14 a 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 a に出力する。補正回路 16 a 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 a に出力する。出力インターフェース 17 a は、デジタル信号を X 線検出カメラ 10 外部に出力する。図 1 では、A/D変換器や補正回路、出力インターフェースは、それぞれ個別に存在しているが、一つにまとまってもよい。

【0024】

制御装置 20 は、例えば PC (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 a , 17 b) から出力されたデジタル信号（増幅信号）に基づいて X 線透過画像を生成する。制御装置 20 は、出力インターフェース 17 a , 17 b から出力された 2 つのデジタル信号を平均処理又は加算処理することにより、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。

【0025】

図 2 は、制御装置 20 のハードウェア構成を示している。図 2 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 CPU (Central Processing Unit) 101、記録媒体である RAM (Random Access Memory) 102 又は ROM (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。

【0026】

図 3 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、絞込部 203、選択部 204、及び処理部 205 を備える。図 3 に示す制御装置 20 の各機能部は、CPU 101 及び RAM 102 等のハードウェア上にプログラム（本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、CPU 101 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、RAM 102 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 CPU 101 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 3 の各機能部として機能させ、後述する放射線画像処理方法に対応する処理を順次実行する。なお、CPU は、単体のハードウェアでもよく、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、ROM 103、RAM 102 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。

【0027】

また、制御装置 20 には、CPU 101 によって読み込まれることによって、CPU 101 に 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 206 が予め複数格納されている。複数の学習済みモデル 206 は、それぞれ、画像データを教師データ

10

20

30

40

50

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206は、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し、制御装置20内で生成されてもよい。

【0028】

図4には、学習済みモデル206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うる。図4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用いてもよい。複数の学習済みモデル206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206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206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。

【0029】

図5は、学習済みモデル206の構築に用いられる教師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。

【0030】

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S101）。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S102）。そして、ステップS102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S103）。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S103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S104）。さらに、一の画素の画素値にステップS104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S105）。ステップS102～ステップS105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S106）、教師データとなる教師画像データを生成する（ステップS107）。また、教師画像データがさらに必要な場合は、ステップS101～ステップS107までの処理を、別の構造

10

20

30

40

50

体画像に対して行うことを判断し（ステップS108）、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。

【0031】

なお、学習済みモデル206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。

【0032】

以下、図3に戻って、制御装置20の各機能部の機能の詳細について説明する。

【0033】

入力部201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うち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11a, 11b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（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。

【0034】

算出部202は、入力部201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11a, 11bの材質及び厚さ、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Tucker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。

【0035】

公知のTucker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、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。

【0036】

【数1】

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

10

20

30

40

50

なお、 E_m は管電圧の情報から決定でき、 A 、 $\mu(E)$ は、ターゲットの材料の情報から決定でき、 θ はターゲット角度の情報から決定できる。

【0037】

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。

【0038】

【数2】

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

10

ここで、 μ は対象物質、フィルタ、シンチレータ等の減弱係数、 x は対象物質、フィルタ、シンチレータ等の厚さである。 μ は対象物、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、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 $E = \text{スペクトル強度積分値} / \text{光子数積分値} \dots (3)$

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。

20

【0039】

絞込部203は、算出部202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206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203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206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206を候補として絞り込む。より具体的には、算出部202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203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206を、学習済みモデルの候補とする。

30

【0040】

選択部204は、絞込部203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206を選択する。詳細には、選択部204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206を選択する。このとき、選択部204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206を選択する。

【0041】

40

より具体的には、選択部204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204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204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206を一つ選択する。

【0042】

50

また、選択部 204 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 6 は、選択部 204 の解析対象の X 線透過画像の一例を示す図である。図 6 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 204 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 7 には、選択部 204 が取得した厚さ - 輝度の特性グラフの一例を示している。

【0043】

さらに、選択部 204 は、同様に、絞込部 203 によって絞り込まれた学習済みモデル 206 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 206 を、最終的な学習済みモデル 206 として選択する。ただし、この学習済みモデル 206 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 20 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の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。

10

【0044】

また、選択部 204 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 204 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 204 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 8 には、選択部 204 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 204 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 206 を、最終的な学習済みモデル 206 として選択する。

20

【0045】

ここで、選択部 204 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 206 を選択できる。

30

【0046】

図 9 は、選択部 204 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 9 において、(a) 部は、複数の学習済みモデル 206 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 204 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 206 を選択するように機能する。選択の際には、選択部 204 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 206 を選択する。また、選択部 204 は、エネルギー特性を用いて選択する場合にも、同様に学習済みモデル 206 を選択できる。

40

【0047】

選択部 204 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

50

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 206 を選択することもできる。

【0048】

例えば、選択部 204 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 206 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 204 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 206 を選択する。図 10 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。

10

【0049】

上記の解像度の変化の評価以外にも、選択部 204 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 206 を選択してもよい。図 11 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 12 は、図 11 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 204 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 204 は、下記式；

20

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

を用いて、輝度 - ノイズ比 CNR を算出する。さらに、選択部 204 は、複数の学習済みモデル 206 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 206 を選択する。

【0050】

または、選択部 204 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。

30

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

【0051】

処理部 205 は、対象物 F を対象に取得された X 線透過画像に、選択部 204 によって選択された学習済みモデル 206 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 205 は、生成した出力画像を表示装置 30 等に出力する。

【0052】

次に、本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、本実施形態に係る放射線画像処理方法の流れについて説明する。図 13 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。

40

【0053】

まず、制御装置 20 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 S1)。次に、制御装置 20 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)。

【0054】

さらに、制御装置 20 によって、制御装置 20 に格納されている学習済みモデル 206 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

50

プ S 3)。その後、制御装置 2 0 に格納されている全ての学習済みモデル 2 0 6 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 S 4)。

【 0 0 5 5 】

次に、制御装置 2 0 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 2 0 6 の候補が絞り込まれる (ステップ S 5)。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 S 6)。

【 0 0 5 6 】

その後、制御装置 2 0 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 S 7)。そして、制御装置 2 0 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 2 0 6 が選択される (ステップ S 8)。

【 0 0 5 7 】

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 9)。次に、制御装置 2 0 により、最終的に選択した学習済みモデル 2 0 6 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 1 0)。最後に、制御装置 2 0 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 1 1)。

【 0 0 5 8 】

以上説明した画像取得装置 1 によれば、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 2 0 6 の中からノイズ除去に用いる学習済みモデル 2 0 6 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 2 0 6 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 線検出力カメラの条件 (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 2 0 6 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。

【 0 0 5 9 】

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。

【 0 0 6 0 】

また、本実施形態の制御装置 2 0 は、選択した学習済みモデル 2 0 6 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。

【 0 0 6 1 】

また、本実施形態の制御装置 2 0 は、選択情報から算出された X 線の平均エネルギーの

10

20

30

40

50

値と、学習済みモデル 206 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。

【0062】

さらに、本実施形態の制御装置 20 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 206 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 206 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。

10

【0063】

図 14 及び図 15 には、画像取得装置 1 によって取得されたノイズ除去処理の前後の X線透過画像の例を示している。図 14 及び図 15 には、それぞれ、金属、ガラス等の異物が付与されたチーズを対象にした画像、様々な大きさの骨が残存している鶏肉を対象にした画像を示しており、左側にノイズ処理前の画像、右側にノイズ処理後の画像をそれぞれ示している。このように、本実施形態によれば、様々な対象物に対してノイズ除去が効果的に行われていることが分かる。

【0064】

以上、本発明の種々の実施形態について説明したが、本発明は上記実施形態に限定されるものではなく、各請求項に記載した要旨を変更しない範囲で変形し、又は他のものに適用したものであってもよい。

20

【0065】

例えば、X線検出カメラ 10 は、デュアルライン X線カメラであるとして説明したがこれに限定されず、シングルライン X線カメラや、デュアルエナジ X線カメラ、TDI (Time Delay Integration) スキャン X線カメラ、2ライン以上の複数のラインを持つマルチライン X線カメラ、2次元 X線カメラ、X線フラットパネルセンサ、X線 I . I、シンチレータを用いない直接変換型 X線カメラ (a-Se、Si、CdTe、CdZnTe、TlBr、PbI₂ 等)、シンチレータをレンズカップリングによる光学レンズを用いた観察方式のカメラであってもよい。また、X線検出カメラ 10 は、放射線に感度のある撮像管或いは放射線に感度のあるポイントセンサであってもよい。

30

【0066】

また、上記実施形態の制御装置 20 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 206 の候補を選択していたが、以下に示す変形例に係る制御装置 20A のように 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。

【0067】

また、画像取得装置 1 についても、上記実施形態に限定されるものではなく、CT (Computed Tomography) 装置など、対象物 F を静止させた状態で撮像する放射線画像処理システムであってもよい。さらに、対象物 F を回転させながら撮像する放射線画像処理システムであってもよい。

40

【0068】

図 16 は、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。制御装置 20A は、上記実施形態に係る制御装置 20 に比較して、測定部 207 を有する点と、算出部 202A 及び絞込部 203A の機能とが異なっている。

【0069】

制御装置 20 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 206 を絞り込んでいく。これに対して、本変形例に係る制御装置 20A 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

50

算出し、X線変換係数を基に学習済みモデル206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。

【0070】

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 E_M [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 Q_E とすると、下記式；

$$F_T = E \times E_M \times C \times Q_E$$

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。

【0071】

制御装置20Aの測定部207は、シンチレータ11a, 11bの性能劣化としての発光量 E_M の低下量、ラインスキャンカメラ12a, 12bの性能劣化としてのセンサの量子効率 Q_E 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207は、シンチレータ11a, 11b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11a, 11b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 E_M を推定する。また、測定部207は、ラインスキャンカメラ12a, 12bの性能劣化の無い状態（新品時での状態）と、現在のラインスキャンカメラ12a, 12b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 Q_E を推定する。また、測定部207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。

【0072】

制御装置20Aの算出部202Aは、算出したX線の平均エネルギー E と、測定部207によって推定された発光量 E_M 及び量子効率 Q_E とを用いてX線変換係数 F_T を算出する。制御装置20Aの絞込部203は、算出したX線変換係数 F_T と、学習済みモデル206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206の候補を絞り込む機能を有する。

【0073】

また、上記実施形態の制御装置20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17は、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13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。

【0074】

上述した実施形態では、候補を用いて対象物の放射線画像からノイズを除去する画像処理を実行するステップをさらに備える、ことが好適である。上記実施形態においては、候補を用いて対象物の放射線画像からノイズを除去する画像処理を実行する処理部をさらに備える、ことが好適である。これにより、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、放射線画像におけるノイズを効果的に除去できる。

【0075】

また、絞り込むステップでは、平均エネルギーと、画像データから特定される平均エネルギーとを比較することにより、候補を絞り込む、ことも好適である。また、絞込部は、

平均エネルギーと、画像データから特定される平均エネルギーとを比較することにより、候補を絞り込む、ことも好適である。この場合、学習済みモデル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との比較により、学習済みモデルが絞り込まれるので、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確実に実現できる。

【0076】

さらに、条件情報には、発生源の管電圧、対象物の撮像に用いるカメラが備えるフィルタの情報、発生源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、発生源と撮像装置との間の距離、対象物の撮像に用いるX線検出カメラに関する情報、及び対象物に関する情報、のいずれか1つが少なくとも含まれる、ことが好適である。この場合、対象物を透過する放射線の平均エネルギーが精度よく計算できるので、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可能となる。

10

【0077】

またさらに、放射線を照射して治具を撮像して放射線画像を取得し、当該放射線画像の画像特性に基づいて候補から学習済みモデルを選択するステップ、をさらに備える、ことも好適である。またさらに、放射線を照射して治具を撮像して放射線画像を取得し、当該放射線画像の画像特性に基づいて候補から学習済みモデルを選択する選択部、をさらに備える、ことも好適である。かかる構成によれば、実際の治具を撮像して得られる放射線画像の画像特性を基に学習済みモデルが選択されるので、対象物の放射線画像のノイズ除去に最適な学習済みモデルを選択できる。その結果、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より確実に実現できる。

20

【産業上の利用可能性】

【0078】

実施形態は、放射線画像処理方法、学習済みモデル、放射線画像処理モジュール、放射線画像処理プログラム、及び放射線画像処理システムを使用用途とし、放射線画像におけるノイズを効果的に除去できるものである。

【符号の説明】

【0079】

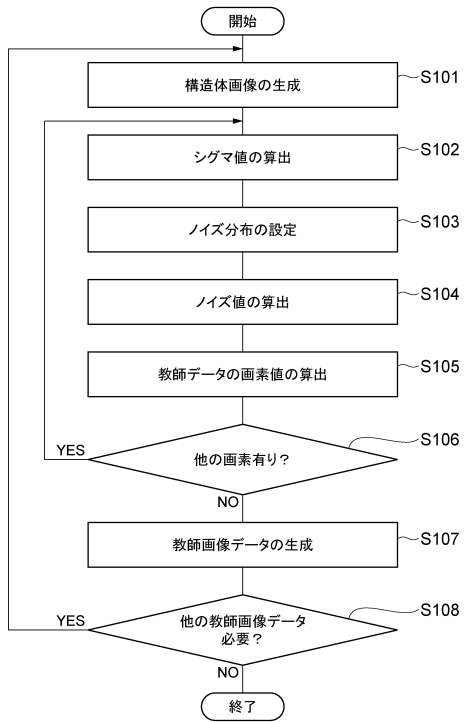
10...X線検出カメラ(撮像装置)、20...制御装置(放射線画像処理モジュール)、201...入力部、202, 202A...算出部、203, 203A...絞込部、204...選択部、205...処理部、206...学習済みモデル、F...対象物。

30

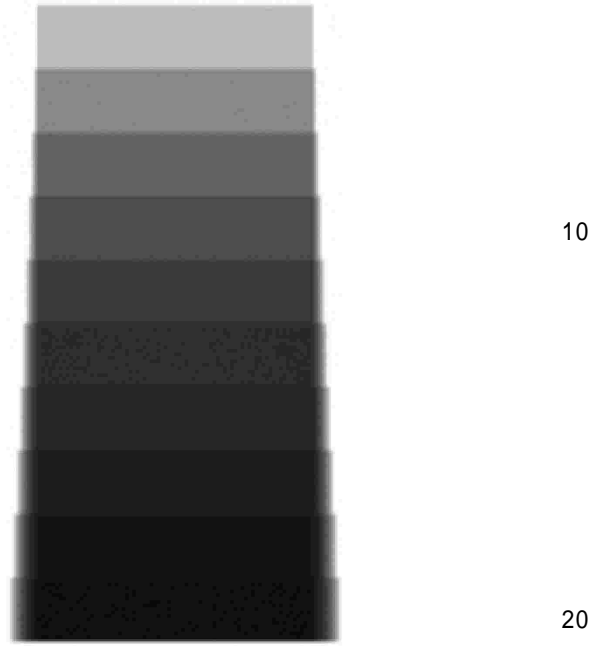
40

50

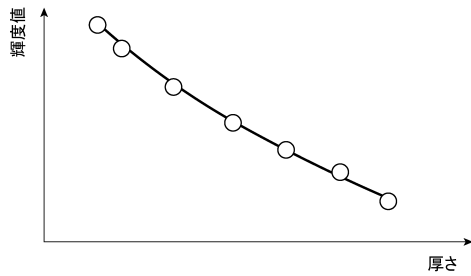
【 図 5 】



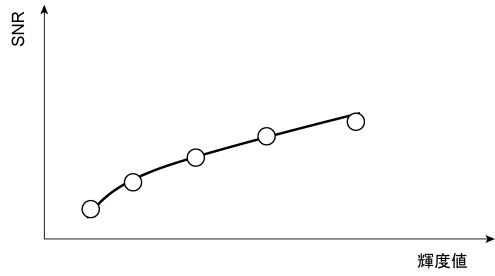
【 図 6 】



【 図 7 】



【 図 8 】



10

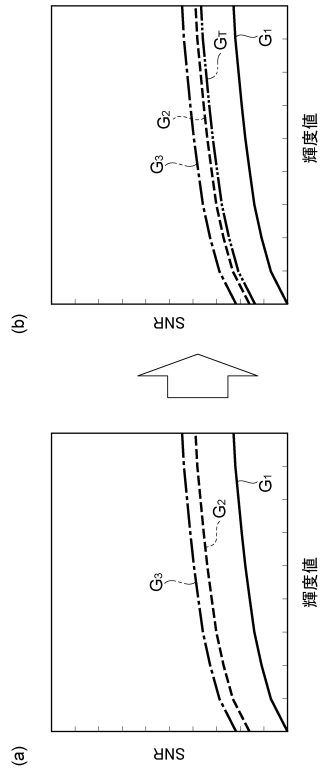
20

30

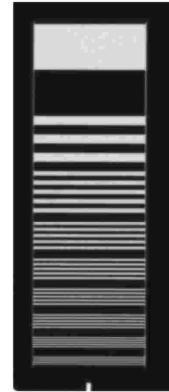
40

50

【 図 9 】



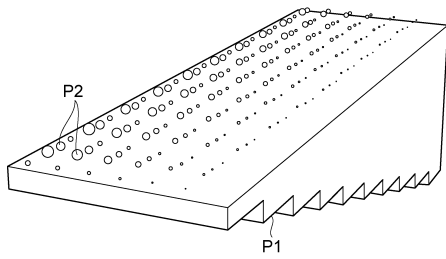
【 図 10 】



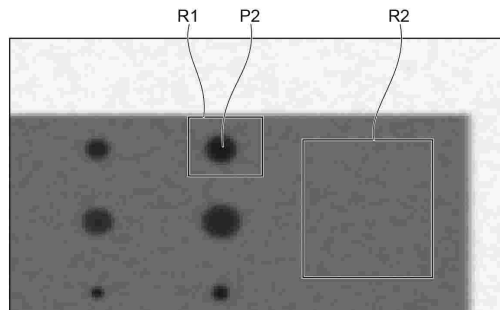
10

20

【 図 11 】



【 図 12 】

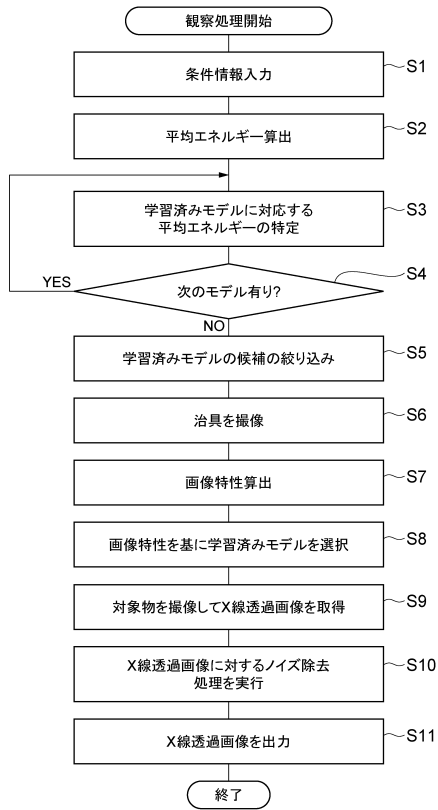


30

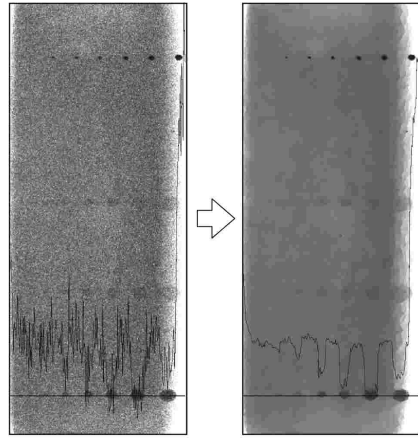
40

50

【図 1 3】



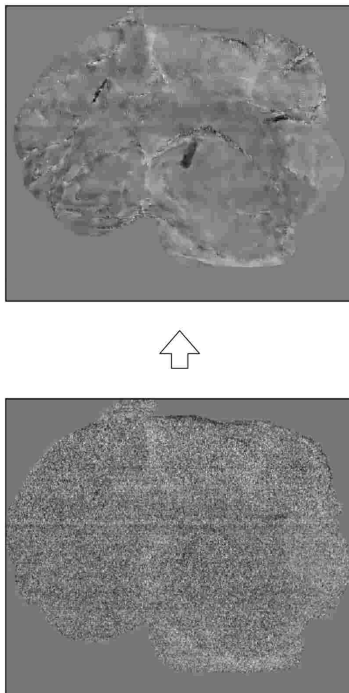
【図 1 4】



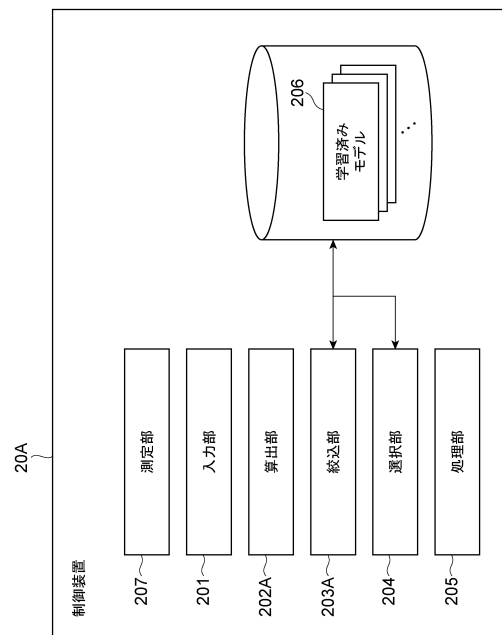
10

20

【図 1 5】



【図 1 6】

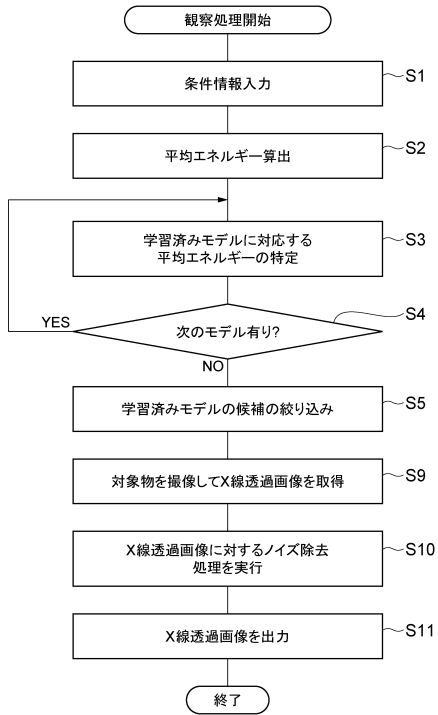


30

40

50

【 図 17 】



10

20

30

40

50

フロントページの続き

(72)発明者 須山 敏康

静岡県浜松市東区市野町1126番地の1 浜松ホトニクス株式会社内

審査官 井上 徹

(56)参考文献 米国特許出願公開第2019/0108441(US, A1)

米国特許出願公開第2019/0102621(US, A1)

米国特許出願公開第2019/0325621(US, A1)

特開2008-229161(JP, A)

特開2019-111322(JP, A)

特表2013-512024(JP, A)

特開2006-318103(JP, A)

(58)調査した分野 (Int.Cl., DB名)

G01N 23/00 - 23/2276

G01N 21/00 - 21/01

G01N 21/17 - 21/61

G01N 21/84 - 21/958

G01B 11/00 - 11/30

A61B 6/00 - 6/58

G06T 1/00 - 7/90

JSTPlus/JMEDPlus/JST7580(JDreamIII)