



**【特許請求の範囲】****【請求項 1】**

ガンマ線に由来する蛍光の頻度に関する空間分布を示す、処理対象のフラッドマップを取得する取得部と、

ガンマ線に由来する蛍光の頻度に関する空間分布を示すフラッドマップに基づいて前記蛍光が発生したシンチレータ結晶を同定するためのフラッドマップにおける区分を出力する機械学習モデルと、前記処理対象のフラッドマップとに基づいて前記処理対象のフラッドマップにおける区分を生成する区分生成部と、

を具備する医用情報処理装置。

**【請求項 2】**

10

前記機械学習モデルから出力された区分を修正する修正部と、

前記修正された区分に基づいて前記機械学習モデルのパラメータを更新して更新後の機械学習モデルを生成する更新部と、を更に備える、

請求項 1 記載の医用情報処理装置。

**【請求項 3】**

前記区分生成部は、前記更新後の機械学習モデルに従い前記処理対象のフラッドマップ又は他のフラッドマップから前記処理対象のフラッドマップ又は他のフラッドマップにおける区分を出力する、請求項 2 記載の医用情報処理装置。

**【請求項 4】**

前記機械学習モデルから出力された区分に対する修正する指示を受け付ける受付部を更に備える、請求項 2 記載の医用情報処理装置。

20

**【請求項 5】**

前記修正された区分に基づく前記更新部によるパラメータの更新を指示するための GUI をディスプレイに表示する表示部を更に備える、請求項 2 記載の医用情報処理装置。

**【請求項 6】**

前記区分と前記フラッドマップとに基づいて、前記フラッドマップ内の位置と前記位置に対応するシンチレータ結晶の識別子との関連付けデータを生成する関連付けデータ生成部を更に備える、請求項 1 記載の医用情報処理装置。

**【請求項 7】**

前記区分は、フラッドマップの座標系により定義された、シンチレータ結晶の区画を示す線のデータである、請求項 1 記載の医用情報処理装置。

30

**【請求項 8】**

前記機械学習モデルを記憶する記憶部を更に備える、請求項 1 記載の医用情報処理装置。

**【請求項 9】**

前記機械学習モデルは、前記フラッドマップが複数の領域に分割された複数の分割フラッドマップと前記フラッドマップに対応する区分が複数の領域に分割された複数の分割区分とに基づいて学習される、請求項 1 記載の医用情報処理装置。

**【請求項 10】**

前記区分生成部は、前記処理対象のフラッドマップを分割して前記処理対象の複数の分割フラッドマップを生成し、前記処理対象の複数の分割フラッドマップに前記機械学習モデルを適用して前記処理対象の複数の分割フラッドマップにそれぞれ対応する複数の分割区分を生成する、請求項 9 記載の医用情報処理装置。

40

**【請求項 11】**

前記区分生成部は、前記処理対象の複数の分割区分を統合して前記処理対象の区分を生成する、請求項 10 記載の医用情報処理装置。

**【請求項 12】**

前記複数の分割フラッドマップのうちの少なくとも一部は、互いに重複するように設定される、請求項 9 記載の医用情報処理装置。

**【請求項 13】**

50

前記区分生成部は、前記処理対象のフラッドマップを少なくとも一部領域が重複するように分割して前記処理対象の複数の分割フラッドマップを生成し、前記処理対象の複数の分割フラッドマップに前記機械学習モデルを適用して前記処理対象の複数の分割フラッドマップにそれぞれ対応する複数の分割区分を生成する、請求項 1 2 記載の医用情報処理装置。

【請求項 1 4】

前記区分生成部は、前記処理対象の複数の分割区分を統合して前記処理対象の区分を生成し、前記一部領域を共有する二以上の分割区分を平均化する、請求項 1 3 記載の医用情報処理装置。

【請求項 1 5】

ガンマ線に由来する蛍光の頻度に関する空間分布を示す、処理対象のフラッドマップを取得する取得部と、

前記処理対象のフラッドマップに所定のアルゴリズムを適用して、前記蛍光が発生したシンチレータ結晶を同定するための、前記処理対象のフラッドマップに関する第 1 の区分を生成する第 1 の区分生成部と、

第 1 の区分に基づいて前記第 1 の区分に比して精度が高い第 2 の区分を出力する機械学習モデルと、前記生成された処理対象のフラッドマップに関する第 1 の区分とに基づいて前記処理対象のフラッドマップに関する第 2 の区分を生成する第 2 の区分生成部と、

を具備する医用情報処理装置。

【請求項 1 6】

ガンマ線に由来する蛍光の頻度に関する空間分布を示すフラッドマップを入力として、前記蛍光が発生したシンチレータ結晶を同定するための前記フラッドマップにおける区分を出力するように構築された機械学習構造を利用して、処理対象のフラッドマップから前記処理対象のフラッドマップにおける区分を生成する、医用情報処理装置。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0 0 0 1】

本発明の実施形態は、医用情報処理装置に関する。

【背景技術】

【0 0 0 2】

P E T (Positron Emission Tomography) 等の核医学診断装置は、複数のシンチレータ結晶と複数の光センサとを含むガンマ線検出器を装備する。シンチレータ結晶は、入射したガンマ線を蛍光に変換し、光センサは、蛍光を検出する。ガンマ線が入力したシンチレータ結晶の同定は、光センサからの出力信号に対する重心演算で得た座標を、ルックアップテーブル (L U T : Look Up Table) に照合することにより行われる。ルックアップテーブルは、ガンマ線に由来する蛍光の頻度に関する空間分布を表現するフラッドマップ (Flood Map) を複数の領域に区分けし、各領域をシンチレータ結晶に関連付けることにより生成される。区分けは、所定のアルゴリズムを用いてフラッドマップに基づき生成される。しかしながら、アルゴリズムは、完全ではないので、人手による修正を要する。修正は、工数を必要とする作業である。アルゴリズムを更新するまで同種の修正作業が繰り返される。これは、非効率である。また、ガンマ線検出器の性能は経時的に変化するので、定期的に区分け作業を実施する必要もある。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0 0 0 3】

【特許文献 1】米国特許出願公開第US2015/0276953号明細書

【特許文献 2】米国特許第9672617号明細書

【特許文献 3】米国特許第9668699号明細書

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

10

20

30

40

50

## 【 0 0 0 4 】

本発明が解決しようとする課題は、フラッドマップの区分けを簡便且つ正確に行うことである。

## 【課題を解決するための手段】

## 【 0 0 0 5 】

実施形態に係る医用情報処理装置は、ガンマ線に由来する蛍光の頻度に関する空間分布を示す、処理対象のフラッドマップを取得する取得部と、ガンマ線に由来する蛍光の頻度に関する空間分布を示すフラッドマップに基づいて前記蛍光が発生したシンチレータ結晶を同定するためのフラッドマップにおける区分を出力する機械学習モデルと、前記処理対象のフラッドマップとに基づいて前記処理対象のフラッドマップにおける区分を生成する区分生成部と、を具備する。

10

## 【図面の簡単な説明】

## 【 0 0 0 6 】

【図 1】図 1 は、本実施形態に係る P E T 装置の構成を示す図である。

【図 2】図 2 は、図 1 のガンマ線検出器の側面図である。

【図 3】図 3 は、図 1 のガンマ線検出器の平面図とフラッドマップとを示す図である。

【図 4】図 4 は、図 3 のフラッドマップと結晶区分とを示す図である。

【図 5】図 5 は、図 1 の重心 / 結晶テーブルの一例を示す図である。

【図 6】図 6 は、本実施形態に係る処理回路による重心 / 結晶テーブルの生成に係る一連の処理の典型的な流れを示す図である。

20

【図 7】図 7 は、図 6 の処理の典型的な流れを模式的に示す図である。

【図 8】図 8 は、図 6 のステップ S A 3 において表示される、結晶区分の修正指示を受け付ける G U I を含む表示画面の一例を示す図である。

【図 9】図 9 は、図 6 のステップ S A 4 において行われる結晶区分の修正の一例を示す図である。

【図 1 0】図 1 0 は、本実施形態の変形例に係る処理回路による重心 / 結晶テーブルの生成に係る一連の処理の典型的な流れを示す図である。

【図 1 1】図 1 1 は、図 1 0 の処理の典型的な流れを模式的に示す図である。

【図 1 2】図 1 2 は、本実施形態のその他の実施例に係る医用画像処理装置の構成を示す図である。

30

【図 1 3】図 1 3 は、応用例 1 に係る処理回路による、フラッドマップから結晶区分の生成処理の典型的な流れを模式的に示す図である。

【図 1 4】図 1 4 は、フラッドマップと分割フラッドマップとの関係を示す図である。

【図 1 5】図 1 5 は、図 1 3 のステップ S C 2 において行われる統合処理を模式的に示す図である。

【図 1 6】図 1 6 は、応用例 2 に係る処理回路による、フラッドマップから結晶区分の生成処理の典型的な流れを模式的に示す図である。

【図 1 7】図 1 7 は、パッチの適用位置の指定指示を受け付ける G U I を含む表示画面の一例を示す図である。

【図 1 8】図 1 8 は、図 1 6 の統合処理において統合される、パッチサイズの切り抜き結晶区分と既存サイズの仮結晶区分との関係を示す図である。

40

## 【発明を実施するための形態】

## 【 0 0 0 7 】

本実施形態に係る医用情報処理装置は、少なくとも、ガンマ線に由来する蛍光の頻度に関する空間分布を表現するフラッドマップ (Flood Map) におけるシンチレータ結晶の区分け作業を行うためのコンピュータである。当該区分け作業は、P E T (Positron Emission Tomography) や S P E C T (Single photon Emission CT)、P E T / C T 装置、S P E C T / C T 装置等の核医学診断装置に用いられる、重心演算結果と入射シンチレータ結晶とを関連付けたデータを生成するために行われる。本実施形態に係る医用情報処理装置は、上記核医学診断装置に組み込まれても良いし、別体のコンピュータであっても良い

50

が、以下の説明を具体的に行うため、PET装置に組み込まれているものとする。

【0008】

図1は、本実施形態に係るPET装置1の構成を示す図である。図1に示すように、PET装置1は、ガントリ10、寝台30及びコンソール50を有する。ガントリ10は、被検体PをPET撮像する撮像装置である。寝台30は、被検体Pを載置する。コンソール50は、ガントリ10と寝台30とを制御するコンピュータである。コンソール50は、本実施形態に係る医用情報処理装置の一種である。

【0009】

図1に示すように、ガントリ10は、検出器リング11、検出処理器13及び同時計数回路15を有する。

10

【0010】

検出器リング11は、中心軸Z回りの円周上に配列された複数のガンマ線検出器17を有する。検出器リング11の開口部には、画像視野(FOV:Field Of View)が設定される。画像視野に被検体Pの撮像部位が含まれるように被検体Pが位置決めされる。被検体Pには陽電子放出核種により標識された薬剤が投与される。陽電子放出核種から放出された陽電子は周囲の電子と対消滅し、一对の対消滅ガンマ線が発生される。ガンマ線検出器17は、被検体Pの体内から放出されたガンマ線を検出し、検出された対消滅ガンマ線の光量に応じた電気信号を生成する。ガンマ線検出器17は、複数のシンチレータ結晶と複数の光センサとを有する。シンチレータ結晶は、被検体P内の放射性同位元素に由来する対消滅ガンマ線との間で相互作用を起こし、複数の蛍光光子を発生する。シンチレータ結晶とガンマ線との相互作用事象はシングルイベントとも呼ばれる。光センサは、蛍光光子を受光し、受光した蛍光光子の光量に応じた電気信号を発生する。光センサとしては、光電子増倍管やフォトダイオード、半導体検出素子等が用いられる。発生された電気信号は、接続先の検出処理器13に供給される。

20

【0011】

ここで、検出器リング11の中心軸をZ軸、床面に垂直に交差する軸をY軸、Z軸及びY軸に直交する軸をX軸に規定する。XYZ座標系は3次元直交座標系をなす。

【0012】

複数の検出処理器13は、複数のガンマ線検出器17にそれぞれ接続される。検出処理器13は、接続元のガンマ線検出器17の電気信号に基づいてシングルイベントデータを生成する。具体的には、検出処理器13は、処理回路19とメモリ21とを含む。処理回路19は、CPU(Central Processing Unit)等のプロセッサを含む。処理回路19は、具体的には、重心演算機能23とエネルギー演算機能25とを実現する。

30

【0013】

重心演算機能23において処理回路19は、接続元のガンマ線検出器17からの電気信号に基づいてガンマ線の入射位置を計算する。ガンマ線の入射位置は、ガンマ線が入射したシンチレータ結晶により表される。具体的には、処理回路19は、複数の光センサからの複数の出力信号の波高値に対して重心演算を行い、シンチレータ結晶において発生したガンマ線の相互作用事象の位置座標(重心)を算出する。次に処理回路19は、算出された重心を、メモリ21に記憶された重心/結晶テーブル27に照合して、ガンマ線の相互作用事象が発生したシンチレータ結晶を同定する。

40

【0014】

エネルギー演算機能25において処理回路19は、接続元のガンマ線検出器17からの電気信号に基づいて、接続元のガンマ線検出器17において相互作用事象を生じたガンマ線のエネルギー値を計算する。具体的には、処理回路19は、複数の光センサからの複数の出力信号の加算信号を生成し、加算信号の波高値をエネルギーとして特定する。

【0015】

各相互作用事象に関する入射シンチレータ結晶の識別子とエネルギー値とは検出時刻と共に関連付けられる。検出時刻は、処理回路19に含まれる時間デジタル変換器等により計測される。例えば、処理回路19は、複数の光センサからの複数の出力信号の加算信号

50

の波高値をモニタリングし、波高値が予め設定された閾値を超える時刻を検出時刻として計測する。入射シンチレータ結晶の識別子とエネルギー値と検出時刻との組合せは、シングルイベントデータと呼ばれている。シングルイベントデータは、ガンマ線が検出される毎に次々に生成される。生成されたシングルイベントデータは、同時計数回路 15 に供給される。

#### 【0016】

同時計数回路 15 は、複数の検出処理器 13 からのシングルイベントデータに同時計数処理を施す。ハードウェア資源として、同時計数回路 15 は、CPU 等のプロセッサを含む。同時計数回路 15 は、繰り返し供給されるシングルイベントデータの中から、予め定められた時間枠内に収まる 2 つのシングルイベントに関するシングルイベントデータを繰り返し特定する。この対のシングルイベントは、同一の対消滅点から発生された対消滅ガンマ線に由来すると推定される。対のシングルイベントは、まとめて同時計数イベントと呼ばれる。この対消滅ガンマ線を検出した対のガンマ線検出器 17 (より詳細にはシンチレータ結晶) を結ぶ線は、LOR (line of response) と呼ばれる。LOR を構成する対のイベントに関するイベントデータは、同時計数イベントデータと呼ばれる。同時計数イベントデータとシングルイベントデータとは、コンソール 50 に伝送される。なお、同時計数イベントデータとシングルイベントデータとを特に区別しないときは PET イベントデータと呼ぶことにする。

#### 【0017】

上記構成において検出処理器 13 と同時計数回路 15 とは、ガントリ 10 に含まれるとしたが、本実施形態はこれに限定されない。例えば、同時計数回路 15、又は検出処理器 13 と同時計数回路 15 との双方が、ガントリ 10 とは別体の装置に含まれても良い。また、同時計数回路 15 は、ガントリ 10 に搭載される複数の検出処理器 13 に対して一つずつ設けられても良いし、ガントリ 10 に搭載される複数の検出処理器 13 を複数のグループに区分し、各グループに対して一つずつ設けられても良い。

#### 【0018】

図 1 に示すように、コンソール 50 は、処理回路 51、ディスプレイ 52、メモリ 53 及び入力インタフェース 54 を有する。例えば、処理回路 51、ディスプレイ 52、メモリ 53 及び入力インタフェース 54 間のデータ通信は、バス (bus) を介して行われる。

#### 【0019】

処理回路 51 は、ハードウェア資源として、CPU や GPU (Graphics Processing Unit) 等のプロセッサを有する。処理回路 51 は、再構成機能 511、画像処理機能 512、撮像制御機能 513、フラッドマップ取得機能 514、結晶区分生成機能 515、結晶区分修正機能 516、テーブル生成機能 517、モデル更新機能 518 及び表示制御機能 519 を実現する。なお、再構成機能 511、画像処理機能 512、撮像制御機能 513、フラッドマップ取得機能 514、結晶区分生成機能 515、結晶区分修正機能 516、テーブル生成機能 517、モデル更新機能 518 及び表示制御機能 519 は、一の基板の処理回路 51 により実装されても良いし、複数の基板の処理回路 51 により分散して実装されても良い。

#### 【0020】

再構成機能 511 において処理回路 51 は、ガントリ 10 から伝送された同時計数イベントデータに基づいて、被検体 P に投与された陽電子放出核種の分布を示す PET 画像を再構成する。画像再構成アルゴリズムとしては、FBP (filtered back projection) 法や逐次近似再構成法等の既存の画像再構成アルゴリズムが用いられれば良い。

#### 【0021】

画像処理機能 512 において処理回路 51 は、再構成機能 511 により再構成された PET 画像に種々の画像処理を施す。例えば、処理回路 51 は、PET 画像にボリウムレンダリングや、サーフェスボリウムレンダリング、画素値投影処理、MPR (Multi-Planar Reconstruction) 処理、CPR (Curved MPR) 処理等の 3 次元画像処理を施して表示画像を生成する。

10

20

30

40

50

## 【 0 0 2 2 】

撮像制御機能 5 1 3 において処理回路 5 1 は、P E T 撮像を行うためガントリ 1 0 と寝台 3 0 とを同期的に制御する。なお、フラッドマップの生成のための P E T 撮像は、製品出荷時やメンテナンス時等、被検体 P の非存在下において行われる。

## 【 0 0 2 3 】

フラッドマップ取得機能 5 1 4 において処理回路 5 1 は、ガンマ線に由来する蛍光の頻度に関する空間分布を表現するフラッドマップを取得する。例えば、処理回路 5 1 は、重心演算機能 2 3 により計算された重心に基づいてフラッドマップを生成する。

## 【 0 0 2 4 】

ここで、ガンマ線検出器 1 7 とフラッドマップとの関係について説明する。

10

## 【 0 0 2 5 】

図 2 は、ガンマ線検出器 1 7 の側面図である。図 2 の側面図は、Z 軸方向から見た側面の図を指す。ここで、ガントリ 1 0 の中心軸 Z を z 軸、z 軸に直交し、シンチレータ結晶の厚みに平行する軸を y 軸、z 軸及び y 軸に直交する軸を x 軸に規定する。x y z 3 次元座標系は、ガンマ線検出器 1 7 を基準とする 3 次元直交座標系をなす。

## 【 0 0 2 6 】

図 2 に示すように、ガンマ線検出器 1 7 は、z 軸及び x 軸に関して 2 次元状に配列された複数のシンチレータ結晶 6 1 を有する。複数のシンチレータ結晶 6 1 の背面にはライトガイド 6 2 を介して、z 軸及び x 軸に関して 2 次元状に複数の光センサ 6 3 が配列されている。以下、光センサ 6 3 は、光電子増倍管であるとする。各ガンマ線検出器 1 7 に設けられる光電子増倍管 6 3 の個数はシンチレータ結晶 6 1 の個数に比して少数である。すなわち、一の光電子増倍管 6 3 の受光面には複数のシンチレータ結晶 6 1 がライトガイド 6 2 を介して接続される。

20

## 【 0 0 2 7 】

図 3 は、ガンマ線検出器 1 7 の平面図とフラッドマップ F M 1 とを示す図である。図 3 の上段にはガンマ線検出器 1 7 の受光面の平面図が示され、図 3 の下段には領域 Z 3 に関するフラッドマップ F M 1 が示されている。図 3 に示すように、複数のシンチレータ結晶の背面には複数の光電子増倍管 6 3 が配置される。複数の光電子増倍管 6 3 は、比較的小面積の受光面を有する光電子増倍管 6 3 と比較的大面積の受光面を有する光電子増倍管 6 3 とを有する。小面積の受光面を有する光電子増倍管 6 3 と大面積の受光面を有する光電子増倍管 6 3 とは z 軸及び x 軸に関して互い違いに配列される。

30

## 【 0 0 2 8 】

フラッドマップの生成のための P E T 撮像は、製品出荷時やメンテナンス時等、被検体 P の非存在下において行われる。フラッドマップの生成のための P E T 撮像においては、ガンマ線放出体からガンマ線検出器 1 7 にガンマ線が入射される。あるシンチレータ結晶 6 1 に入射したガンマ線がシンチレータ結晶 6 1 との間で相互作用を起こし、入射したガンマ線のエネルギーに応じた個数の複数の蛍光光子に変換される。各蛍光光子は、ライトガイドを介して光電子増倍管 6 3 により検出される。検出された蛍光光子は、光電子増倍管 6 3 により、当該蛍光光子のエネルギーに応じた波高値を有する電気信号に変換される。電気信号は検出処理器 1 3 に供給される。

40

## 【 0 0 2 9 】

検出処理器 1 3 の処理回路 1 9 は、ガンマ線の相互作用事象毎に、接続元の複数の光電子増倍管 6 3 から複数の電気信号を受ける。処理回路 1 9 は、重心演算機能 2 3 により、複数の電気信号に重心演算を施す。具体的には、処理回路 1 9 は、ガンマ線検出器座標系における、電気信号の波高値と当該電気信号の出力元の光電子増倍管 6 3 の位置とに基づいて重心の座標を計算する。ガンマ線検出器座標系は、具体的には、ガンマ線検出器 1 7 の z 軸及び x 軸により規定される 2 次元直交座標系である。相互作用事象毎の重心座標のデータは処理回路 5 1 に供給される。

## 【 0 0 3 0 】

フラッドマップの生成のための P E T 撮像において処理回路 5 1 は、フラッドマップ取

50

得機能 5 1 4 を実行する。処理回路 5 1 は、図 3 の下段に示すように、相互作用事象毎の重心座標をガンマ線検出器座標系にプロットする。これにより、ガンマ線に由来する蛍光の頻度に関する空間分布を表現するフラッドマップ F M 1 が生成される。図 3 の上段に示すように、ガンマ線検出器 1 7 は、x 軸に沿って複数の領域 Z 1 - Z 4 に分割される。領域 Z 1 - Z 4 毎にフラッドマップ F M 1 が生成される。なお、領域 Z 1 - Z 4 全体に亘るフラッドマップが生成されても良い。

#### 【 0 0 3 1 】

結晶区分生成機能 5 1 5 において処理回路 5 1 は、メモリ 5 3 に記憶された機械学習モデル 5 3 1 に従い、フラッドマップ取得機能 5 1 4 により取得された処理対象のフラッドマップから、処理対象のフラッドマップにおける区分（以下、結晶区分と呼ぶ）を生成する。

10

#### 【 0 0 3 2 】

図 4 は、図 3 のフラッドマップ F M 2 と結晶区分 S L 2 とを示す図である。図 4 に示すように、結晶区分 S L 2 は、フラッドマップ F M 2 の座標系（すなわち、ガンマ線検出器座標系）により定義された、シンチレータ結晶の区画を示す線のデータである。シンチレータ結晶の発光特性や光センサの出力特性等のばらつきのため、重心座標に位置するシンチレータ結晶であっても実際には当該相互作用事象が生じておらず、その近傍のシンチレータ結晶において当該相互作用事象が生じている場合がある。従って、重心座標と当該重心座標に対応する相互作用事象が生じたシンチレータ結晶とを関連付ける必要があり、当該関連づけの前処理としてフラッドマップ F M 1 に結晶区分を設定する必要がある。

20

#### 【 0 0 3 3 】

本実施形態に係る機械学習モデル 5 3 1 は、フラッドマップを入力として当該フラッドマップに対応する結晶区分を出力するように学習された、複数の関数が合成されたパラメータ付き合成関数である。パラメータ付き合成関数は、複数の調整可能な関数及びパラメータの組合せにより定義される。パラメータは、重み付行列とバイアスとの総称である。機械学習モデル 5 3 1 は、深層ニューラルネットワーク（D N N : Deep Neural Network）等の、上記の要請を満たす如何なるパラメータ付き合成関数であっても良い。

#### 【 0 0 3 4 】

結晶区分修正機能 5 1 6 において処理回路 5 1 は、結晶区分生成機能 5 1 5 において生成された結晶区分を、入力インタフェース 5 4 等を介したユーザ指示に従い修正する。

30

#### 【 0 0 3 5 】

テーブル生成機能 5 1 7 において処理回路 5 1 は、結晶区分生成機能 5 1 5 により生成された結晶区分又は結晶区分修正機能 5 1 6 による修正後の結晶区分と、フラッドマップ取得機能 5 1 4 により取得された処理対象のフラッドマップとに基づいて、当該フラッドマップ内の位置と当該位置に対応するシンチレータ結晶の識別子との関連付けデータを生成する。関連付けデータは、ルックアップテーブルやデータベース等により実現される。フラッドマップ内の位置は、重心演算機能 2 3 により計算された重心の位置に等しい。シンチレータ結晶の識別子は、名称や位置、番号等の、シンチレータ結晶を一意に同定可能な情報である。以下、当該関連付けデータを重心 / 結晶テーブル 2 7 と呼ぶことにする。重心 / 結晶テーブル 2 7 は、ガンマ線検出器 1 7 毎に生成される。重心 / 結晶テーブル 2 7 は、対応する検出処理器 1 3 のメモリ 2 1 に記憶される。

40

#### 【 0 0 3 6 】

図 5 は、重心 / 結晶テーブル 2 7 の一例を示す図である。図 5 に示すように、重心 / 結晶テーブル 2 7 は、重心項目とシンチレータ結晶項目とを有する。重心項目にはフラッドマップにおいて規定された重心の座標が登録される。シンチレータ結晶項目には、関連付けられた重心座標に対応するシンチレータ結晶の識別子が登録される。例えば、重心座標「( x 1、z 1 )」はシンチレータ結晶「C 1」に関連付けられる。すなわち、重心座標として「( x 1、z 1 )」が算出された相互作用事象は「C 1」のシンチレータ結晶において発生したものと見做される。検出処理器 1 3 は、重心演算機能 2 3 により算出された重心座標を、重心 / 結晶テーブル 2 7 に照合してシンチレータ結晶の識別子を同定するこ

50

とができる。

【 0 0 3 7 】

モデル更新機能 5 1 8 において処理回路 5 1 は、結晶区分修正機能 5 1 6 による修正後の結晶区分に基づいて機械学習モデル 5 3 1 のパラメータを更新し、更新後の機械学習モデル 5 3 1 を生成する。パラメータの更新は、機械学習モデル 5 3 1 に対する強化学習により行われる。

【 0 0 3 8 】

表示制御機能 5 1 9 において処理回路 5 1 は、種々の情報をディスプレイ 5 2 に表示する。例えば、処理回路 5 1 は、再構成機能 5 1 1 により再構成された P E T 画像やフラッドマップ取得機能 5 1 4 により取得されたフラッドマップ、結晶区分生成機能 5 1 5 により生成された結晶区分、結晶区分修正機能 5 1 6 による修正後の結晶区分等を表示する。

10

【 0 0 3 9 】

ディスプレイ 5 2 は、表示制御機能 5 1 9 における処理回路 5 1 の制御を受けて、種々の情報を表示する。ディスプレイ 5 2 としては、例えば、C R T ディスプレイや液晶ディスプレイ、有機 E L ディスプレイ、L E D ディスプレイ、プラズマディスプレイ、又は当技術分野で知られている他の任意のディスプレイが適宜利用可能である。

【 0 0 4 0 】

メモリ 5 3 は、種々の情報を記憶する R O M (Read Only Memory) や R A M (Random Access Memory)、H D D (Hard Disk Drive)、S S D (Solid State Drive)、集積回路記憶装置等の記憶装置である。また、メモリ 5 3 は、C D - R O M ドライブや D V D ドライブ、フラッシュメモリ等の可搬性記憶媒体との間で種々の情報を読み書きする駆動装置等であっても良い。例えば、メモリ 5 3 は、機械学習モデル 5 3 1 を記憶する。また、メモリ 5 3 は、シングルイベントデータや同時計数イベントデータ、P E T 画像、表示画像、フラッドマップ、結晶区分等を記憶する。

20

【 0 0 4 1 】

入力インタフェース 5 4 は、ユーザからの各種の入力操作を受け付け、受け付けた入力操作を電気信号に変換して処理回路 5 1 に出力する。具体的には、入力インタフェース 5 4 は、マウス、キーボード、トラックボール、スイッチ、ボタン、ジョイスティック、タッチパッド及びタッチパネルディスプレイ等の入力機器に接続されている。入力インタフェース 5 4 は、当該入力機器への入力操作に応じた電気信号を処理回路 5 1 へ出力する。また、入力インタフェース 5 4 に接続される入力機器は、ネットワーク等を介して接続された他のコンピュータに設けられた入力機器でも良い。

30

【 0 0 4 2 】

次に、本実施形態に係る P E T 装置 1 の動作例について説明する。

【 0 0 4 3 】

図 6 は、本実施形態に係る処理回路 5 1 による重心 / 結晶テーブル 2 7 の生成に係る一連の処理の典型的な流れを示す図である。図 7 は、図 6 の処理の典型的な流れを模式的に示す図である。図 6 及び図 7 の処理は、典型的には、P E T 装置 1 の製品出荷時や定期点検、日々の点検等において行われる。

【 0 0 4 4 】

図 6 及び図 7 に示すように、まず、処理回路 5 1 は、フラッドマップ取得機能 5 1 4 を実行する (ステップ S A 1)。ステップ S A 1 において、フラッドマップ 7 1 の生成のための P E T 撮像が行われ、処理対象のガンマ線検出器 1 7 によりガンマ線が検出される。上述のように、フラッドマップ 7 1 の生成のための P E T 撮像は、F O V に被検体が存在しない状況において処理対象のガンマ線検出器 1 7 に、任意のガンマ線放出体からガンマ線が入射されることにより行われる。処理回路 5 1 は、処理対象のガンマ線検出器 1 7 の出力信号に基づいて、処理対象のガンマ線検出器 1 7 に関するフラッドマップ 7 1 を取得する。

40

【 0 0 4 5 】

ステップ S A 1 が行われると処理回路 5 1 は、結晶区分生成機能 5 1 5 を実行する (ス

50

テップ S A 2)。ステップ S A 2 において処理回路 5 1 は、機械学習モデル 5 3 1 を、ステップ S A 1 において取得されたフラッドマップ 7 1 に適用して当該フラッドマップ 7 1 における結晶区分を生成する。なお、ステップ S A 2 において使用される機械学習モデル 5 3 1 は、前回の処理対象のガンマ線検出器 1 7 に関するステップ S A 7 において生成された更新後の機械学習モデル 5 3 1 であっても良い。

【 0 0 4 6 】

ステップ S A 2 が行われると処理回路 5 1 は、結晶区分の修正指示を待機する（ステップ S A 3）。ステップ S A 3 において処理回路 5 1 は、修正指示を受け付ける G U I（Graphical User Interface）を提供する。

【 0 0 4 7 】

図 8 は、結晶区分の修正指示を受け付ける G U I を含む表示画面（以下、修正操作画面と呼ぶ）の一例を示す図である。修正操作画面は、結晶区分の修正指示を受け付ける受付部の一種である。修正操作画面は、処理回路 5 1 によりディスプレイ 5 2 に表示される。図 8 に示すように、修正操作画面には、結晶区分 S L 3 が重畳されたフラッドマップ F M 3 が表示される。結晶区分 S L 3 は、入力インタフェース 5 4 を介して形状を変形可能に表示される。

【 0 0 4 8 】

ユーザは、フラッドマップ F M 3 と結晶区分 S L 3 とを観察しながら結晶区分 S L 3 が正しく描かれているか否かを判断する。修正操作画面には、例えば、修正を促すメッセージの表示欄 M S が表示される。当該メッセージとしては、例えば、「必要であれば結晶区分を修正して下さい」が表示される。ユーザは、結晶区分 S L 3 が正しく描かれていないと判断した場合、入力インタフェース 5 4 を介して結晶区分 S L 3 の形状を変形するための修正指示を行う。

【 0 0 4 9 】

結晶区分 S L 3 に対する修正指示がなされた場合（ステップ S A 3：Y E S）、処理回路 5 1 は、結晶区分修正機能 5 1 6 を実行する（ステップ S A 4）。ステップ S A 4 において処理回路 5 1 は、修正指示に従い結晶区分 S L 3 を修正する。修正は修正操作画面 I S 1 にリアルタイムで反映される。

【 0 0 5 0 】

図 9 は、ステップ S A 4 において行われる結晶区分 S L 4 の修正の一例を示す図である。図 9 に示すように、修正操作画面においてフラッドマップ F M 4 に結晶区分 S L 4 が重畳されている。フラッドマップ F M 4 の局所領域 R 1 は重心の高頻度領域が比較的広範囲に亘っており、結晶区分 S L 4 の精度が比較的悪いといえる。この場合、ユーザは、入力インタフェース 5 4 を介して、局所領域 R 1 内の結晶区分 S L 4 を左側にシフトするための指示を行うこととなる。このようにして修正指示が行われる。

【 0 0 5 1 】

図 8 に示すように、修正操作画面には、更に、戻るボタン B 1、確定ボタン B 2 及び強化ボタン B 3 が選択可能に表示される。戻るボタン B 1 が押下された場合、処理回路 5 1 は、ユーザにより入力インタフェース 5 4 を介して修正された結晶区分 S L 3 を初期の結晶区分 S L 3 に戻す。

【 0 0 5 2 】

修正指示がなされ且つ確定ボタン B 2 が押下された場合、処理回路 5 1 は、確定ボタン B 2 が押下された時点において修正操作画面に表示されている結晶区分 S L 3 を、重心 / 結晶テーブル 2 7 に使用する結晶区分として確定する。そして処理回路 5 1 は、テーブル生成機能 5 1 7 を実行する（ステップ S A 5）。ステップ S A 5 において処理回路 5 1 は、フラッドマップと修正後の結晶区分とに基づいて重心 / 結晶テーブル 2 7 を生成する。例えば、図 8 に示すように、結晶区分 S L 3 は複数の閉領域を含む。複数の閉領域は、ガンマ線検出器 1 7 に実際に搭載される複数のシンチレータ結晶にそれぞれ対応する。複数の閉領域は、複数のシンチレータ結晶の識別子にそれぞれ関連付けられている。処理回路 5 1 は、フラッドマップの画素各々が属する閉領域を特定し、当該閉領域に関連付けられ

10

20

30

40

50

たシンチレータ結晶の識別子を特定する。処理回路 5 1 は、フラッドマップの画素各々についてシンチレータ結晶の識別子を重心 / 結晶テーブル 2 7 に登録する。これにより、重心 / 結晶テーブル 2 7 が生成される。

【 0 0 5 3 】

ステップ S A 5 が行われると処理回路 5 1 は、ステップ S A 2 において使用した機械学習モデル 5 3 1 を強化するか否かを判定する ( ステップ S A 6 ) 。例えば、処理回路 5 1 は、図 8 に示す確定ボタン B 2 が押下された場合、強化ボタン B 3 が押下されることを待機する。強化ボタン B 3 が押下された場合 ( ステップ S A 6 : Y E S ) 、処理回路 5 1 は、モデル更新機能 5 1 8 を実行する ( ステップ S A 7 ) 。ステップ S A 7 において処理回路 5 1 は、修正前の結晶区分と修正後の結晶区分とに基づき機械学習モデル 5 3 1 のパラメータを更新する。パラメータの更新は、機械学習モデル 5 3 1 に対する強化学習により行われる。修正前の結晶区分と修正後の結晶区分とに基づく強化学習により、機械学習モデル 5 3 1 は、ユーザによる人手の修正を学習することができる。このようにして、フラッドマップに基づく結晶区分の生成の精度を向上させることができる。

10

【 0 0 5 4 】

一方、ステップ S A 3 において修正指示がなされなかった場合 ( ステップ S A 3 : N O ) 、処理回路 5 1 は、ステップ S A 1 において取得されたフラッドマップとステップ S A 2 において生成された結晶区分とに基づいて重心 / 結晶テーブル 2 7 を生成する。重心 / 結晶テーブル 2 7 の生成方法は、ステップ S A 5 と同様である。

20

【 0 0 5 5 】

ステップ S A 7 が行われた場合、強化学習が行われない場合 ( ステップ S A 6 : N O ) 又はステップ S A 8 が行われた場合、図 6 の処理は終了する。

【 0 0 5 6 】

図 6 及び図 7 の処理はガンマ線検出器 1 7 毎に繰り返される。ガンマ線検出器 1 7 毎の重心 / 結晶テーブル 2 7 は、当該ガンマ線検出器 1 7 に接続された検出処理器 1 3 のメモリ 2 1 に記憶される。検出処理器 1 3 は、P E T 撮像において重心 / 結晶テーブル 2 7 を使用して、相互作用事象が生じたシンチレータ結晶を同定することが可能になる。

【 0 0 5 7 】

更に、結晶区分に対する修正に基づく強化学習を当該修正毎に行うことにより、機械学習モデル 5 3 1 に人手による修正を加味した結晶区分を生成させることが可能になる。すなわち、本実施形態に係る機械学習モデル 5 3 1 は、人手による修正に関する汎化能力を再帰的に獲得することが可能になる。この方法により、フラッドマップの区分け作業に対する経時的、自律的な精度向上を実現することができる。処理回路 5 1 は、次の処理対象のガンマ線検出器 1 7 に関するフラッドマップの区分けにおいて、パラメータ更新後の機械学習モデル 5 3 1 に従い、当該次の処理対象のガンマ線検出器 1 7 に関するフラッドマップから当該フラッドマップに関する結晶区分を生成する。このような機械学習モデル 5 3 1 を利用してフラッドマップの区分けを行うことにより、人手の修正の頻度を低減させることができるため、区分けを簡便且つ高精度に行うことが可能になる。また、学習が十分になされた機械学習モデル 5 3 1 を P E T 装置 1 に実装することにより、定期点検を待つことなく、例えば、1 日単位のガンマ線検出器 1 7 の調整が可能になる。

30

40

【 0 0 5 8 】

( 変形例 )

上記の実施形態において機械学習モデル 5 3 1 は、フラッドマップを入力とし結晶区分を出力するようにパラメータが学習された機械学習モデルであるとした。しかしながら、本実施形態はこれに限定されない。変形例に係る機械学習モデル 5 3 1 - 2 は、結晶区分を入力とし、入力された結晶区分に比して高精度の結晶区分を出力するようにパラメータが学習された機械学習モデルであるとする。以下、変形例に係る P E T 装置について説明する。なお以下の説明において、本実施形態と略同一の機能を有する構成要素については、同一符号を付し、必要な場合にのみ重複説明する。

【 0 0 5 9 】

50

図 10 は、本実施形態の変形例に係る処理回路 51 による重心 / 結晶テーブルの生成に係る一連の処理の典型的な流れを示す図である。図 11 は、図 10 の処理の典型的な流れを模式的に示す図である。図 10 及び図 11 の処理は、図 6 及び図 7 の処理と同様、典型的には、PET 装置 1 の製品出荷時や定期点検、日々の点検等において行われる。

【0060】

図 10 及び図 11 に示すように、まず、処理回路 51 は、フラッドマップ取得機能 514 を実行する（ステップ S B 1）。ステップ S B 1 はステップ S A 1 と同様である。

【0061】

ステップ S B 1 が行われると処理回路 51 は、第一の結晶区分生成機能 515 を実行する（ステップ S B 2）。ステップ S B 2 において処理回路 51 は、ステップ S B 1 において取得されたフラッドマップ 81 に自動区分化処理を施して、当該フラッドマップに関する結晶区分（以下、仮結晶区分と呼ぶ）83 を生成する。自動区分化処理は、機械学習モデル 531 - 2 を利用した結晶区分の生成処理とは異なる、厳密な数学的なアルゴリズム、ヒューリスティック（Heuristic）に定められたアルゴリズム又はこれらを混合したアルゴリズムを用いる。自動区分化処理は、フラッドマップから仮結晶区分 83 を生成するための一定の手順により規定されるが、人手による修正が組み込まれたものではない。

【0062】

ステップ S B 2 が行われると処理回路 51 は、第二の結晶区分生成機能 515 を実行する（ステップ S B 3）。ステップ S B 3 において処理回路 51 は、変形例に係る機械学習モデル 531 - 2 を、ステップ S B 1 において取得されたフラッドマップ 81 とステップ S B 2 において生成された仮結晶区分 83 とに適用して当該フラッドマップ 81 における結晶区分 85 を生成する。機械学習モデル 531 - 2 は、フラッドマップと結晶区分とを入力として、入力された結晶区分に比して精度が高い結晶区分を出力するようにパラメータが学習された機械学習モデルである。精度が高い結晶区分とは、自動区分化処理により生成された結晶区分に比して、ユーザ等による人手の修正がなされた後の結晶区分に形状が近似していることを意味する。機械学習モデル 531 - 2 は、フラッドマップと自動区分化処理により生成された結晶区分と人手の修正が施された結晶区分との組合せを学習サンプルとしてパラメータが学習される。フラッドマップと自動区分化処理により生成された結晶区分とを入力としたときの出力結晶区分が、人手の修正が施された結晶区分に近似するようにパラメータが更新される。

【0063】

ステップ S B 3 が行われると処理回路 51 は、結晶区分の修正指示を待機する（ステップ S B 4）。ステップ S B 4 において処理回路 51 は、図 8 に示すように、修正指示を受け付ける GUI を提供する。

【0064】

結晶区分に対する修正指示がなされた場合（ステップ S B 4：YES）、処理回路 51 は、結晶区分修正機能 516 を実行する（ステップ S B 5）。ステップ S B 5 において処理回路 51 は、修正指示に従い結晶区分を修正する。

【0065】

修正指示がなされた場合、処理回路 51 は、修正後の結晶区分を、重心 / 結晶テーブル 27 に使用する結晶区分として確定する。そして処理回路 51 は、テーブル生成機能 517 を実行する（ステップ S B 6）。ステップ S B 6 において処理回路 51 は、フラッドマップと修正後の結晶区分とに基づいて重心 / 結晶テーブルを生成する。ステップ S B 6 はステップ S A 5 と同様である。

【0066】

ステップ S B 6 が行われると処理回路 51 は、ステップ S B 3 において使用した機械学習モデル 531 - 2 を強化するか否かを判定する（ステップ S B 7）。強化する場合（ステップ S B 7：YES）、処理回路 51 は、モデル更新機能 518 を実行する（ステップ S B 8）。ステップ S B 8 において処理回路 51 は、修正前の結晶区分と修正後の結晶区分とに基づき機械学習モデル 531 - 2 のパラメータを更新する。パラメータの更新は、

10

20

30

40

50

機械学習モデル 531-2 に対する強化学習により行われる。修正前の結晶区分と修正後の結晶区分とに基づく強化学習により、機械学習モデル 531 は、ユーザによる人手の修正を学習することができる。これによりフラッドマップに基づく結晶区分の生成の精度を向上させることができる。

【0067】

一方、ステップ S B 4 において修正指示がなされなかった場合（ステップ S B 4：NO）、処理回路 51 は、ステップ S B 1 において取得されたフラッドマップとステップ S B 3 において生成された結晶区分とに基づいて重心 / 結晶テーブル 27 を生成する。重心 / 結晶テーブル 27 の生成方法は、ステップ S B 6 と同様である。

【0068】

ステップ S B 8 が行われた場合、強化学習が行われない場合（ステップ S B 7：NO）又はステップ S B 9 が行われた場合、図 10 及び図 11 の処理は終了する。

【0069】

図 10 及び図 11 の処理はガンマ線検出器 17 毎に繰り返される。ガンマ線検出器 17 毎の重心 / 結晶テーブル 27 は、当該ガンマ線検出器 17 に接続された検出処理器 13 のメモリ 21 に記憶される。検出処理器 13 は、PET 撮像において重心 / 結晶テーブル 27 を使用して、相互作用事象が生じたシンチレータ結晶を特定することが可能になる。なお、機械学習モデル 531-2 は、仮結晶区分を入力して結晶区分を出力するように学習されてもよい。この場合、ステップ S B 3 において処理回路 51 は、ステップ S B 2 において生成された仮結晶区分 83 を機械学習モデル 531-2 に適用して結晶区分 85 を生成することとなる。

【0070】

（その他）

上記の少なくとも一の実施形態において医用情報処理装置は、PET 装置に組み込まれたコンピュータであるとした。しかしながら、本実施形態はこれに限定されない。例えば、PET 装置とは別体のコンピュータであっても良い。このようなコンピュータとしては、例えば、PET 装置 1 の製造過程において用いられる、重心 / 結晶テーブルの生成のためのコンピュータが挙げられる。なお以下の説明において、上記の実施形態と略同一の機能を有する構成要素については、同一符号を付し、必要な場合にのみ重複説明する。

【0071】

図 12 は、本実施形態に係るその他の実施例に係る医用情報処理装置 50 の構成の一例を示す図である。図 12 に示すように、医用情報処理装置 50 は、処理回路 51、ディスプレイ 52、メモリ 53、入力インタフェース 54 及び通信インタフェース 55 を有する。例えば、処理回路 51、ディスプレイ 52、メモリ 53、入力インタフェース 54 及び通信インタフェース 55 間のデータ通信は、バスを介して行われる。

【0072】

処理回路 51 は、ハードウェア資源として、CPU や GPU 等のプロセッサを有する。処理回路 51 は、フラッドマップ取得機能 514、結晶区分生成機能 515、結晶区分修正機能 516、テーブル生成機能 517、モデル更新機能 518 及び表示制御機能 519 を実現する。通信インタフェース 55 は、重心 / 結晶テーブルの生成対象の PET 装置との間でデータ通信するためのインタフェースである。フラッドマップ取得機能 514 において処理回路 51 は、重心 / 結晶テーブルの生成対象の PET 装置からフラッドマップを、通信インタフェース 55 等を介して取得する。

【0073】

上記の構成によれば、少なくとも結晶区分生成機能 515、結晶区分修正機能 516、テーブル生成機能 517 及びモデル更新機能 518 を、PET 装置から独立したコンピュータである医用情報処理装置 50 に実現させることが可能になる。これにより、一台の医用情報処理装置 50 により複数台の PET 装置についてフラッドマップの分け作業等を実行することが可能になる。この際、モデル更新機能 518 により、ユーザによる結晶区分の修正に基づき機械学習モデル 531（又は変形例に係る機械学習モデル 531-2）

10

20

30

40

50

の強化学習を行うことにより、機械学習モデル 5 3 1 (又は変形例に係る機械学習モデル 5 3 1 - 2) を強化しながら、効率的に重心 / 結晶テーブルを生成等することが可能になる。

#### 【0074】

##### (応用例 1)

上記の実施形態において機械学習モデル 5 3 1 は、フラッドマップを、典型的には、検出器バック又は検出器モジュール単位等の既存の単位で入出力するものとした。しかしながら、本実施形態はこれに限定されない。応用例 1 に係る機械学習モデルは、一のフラッドマップを小領域 (パッチ) 単位で学習される。以下、応用例 1 に係る P E T 装置について説明する。なお以下の説明において、本実施形態と略同一の機能を有する構成要素につ

10

#### 【0075】

応用例 1 に係る機械学習モデルは、フラッドマップが小領域に分割されたフラッドマップ (以下、分割フラッドマップと呼ぶ) とフラッドマップに対応する区分が小領域に分割された区分 (以下、分割区分と呼ぶ) とに基づいて学習される。処理回路 5 1 は、結晶区分生成機能 5 1 5 の実現により、処理対象のフラッドマップを分割して処理対象の複数の分割フラッドマップを生成し、処理対象の複数の分割フラッドマップに機械学習モデルを適用して処理対象の複数の分割フラッドマップにそれぞれ対応する複数の分割区分を生成する。そして処理回路 5 1 は、処理対象の複数の分割区分を統合して処理対象の結晶区分を生成する。

20

#### 【0076】

図 1 3 は、応用例 1 に係る処理回路 5 1 による、フラッドマップ 7 1 から結晶区分 7 3 の生成処理の典型的な流れを模式的に示す図である。図 1 3 に示すように、処理回路 5 1 は、フラッドマップ取得機能 5 1 4 の実現により、検出器バック又は検出器モジュール単位等の既存の単位に関する、処理対象のフラッドマップ 7 1 を取得する。以下、既存の単位のフラッドマップ等のサイズを既存サイズと呼ぶことにする。次に処理回路 5 1 は、結晶区分生成機能 5 1 5 の実現により、分割処理を実行する (ステップ S C 1)。ステップ S C 1 において処理回路 5 1 は、処理対象のフラッドマップ 7 1 を分割して、互いに位置が異なる複数の分割フラッドマップ 7 1 1 を生成する。

30

#### 【0077】

図 1 4 は、フラッドマップ 7 1 と分割フラッドマップ 7 1 1 との関係を示す図である。図 1 4 に示すように、分割フラッドマップ 7 1 1 のサイズは、元のフラッドマップ 7 1 のサイズよりも小さければ、如何なるサイズでもよい。例えば、フラッドマップ 7 1 が z 軸方向にシンチレータ結晶 1 6 個及び x 軸方向に 8 個分のサイズである場合、分割フラッドマップ 7 1 1 は z 軸方向にシンチレータ結晶 1 6 個及び x 軸方向に 8 個分のサイズに設定される。一のフラッドマップ 7 1 から分割される複数の分割フラッドマップ 7 1 1 のサイズは全て同一サイズに設定される。隣接する分割フラッドマップ 7 1 1 は一部領域 7 1 2 にて重畳するように分割される。一部領域 7 1 2 を共有する分割フラッドマップは二つでもよいし、三つ以上でもよい。複数の分割フラッドマップ 7 1 1 のうちの二以上の分割フラッドマップ 7 1 1 が重畳するように分割することにより、後続の処理において生成される結晶区分の一部欠落を回避することが可能になる。

40

#### 【0078】

例えば、処理回路 5 1 は、分割フラッドマップ 7 1 1 と同一のサイズを有するパッチを、フラッドマップ 7 1 のうちの分割フラッドマップ 7 1 1 の生成対象領域に適用して切り抜くことにより、分割フラッドマップ 7 1 1 を生成する。処理回路 5 1 は、パッチの適用位置をシフトさせつつ、各適用位置の分割フラッドマップ 7 1 1 を生成する。パッチの適用位置は、自動的に決定されてもよいし、ユーザにより入力インタフェース 5 4 等を介して設定されてもよい。以下、分割フラッドマップ 7 1 1 等のサイズ、すなわち、パッチのサイズをパッチサイズと呼ぶことにする。

#### 【0079】

50

分割フラッドマップ 7 1 1 が生成されると処理回路 5 1 は、パッチサイズの各分割フラッドマップ 7 1 1 に機械学習モデル 5 3 1 - 3 を適用してパッチサイズの分割結晶区分 7 3 1 を生成する。処理回路 5 1 は、機械学習モデル 5 3 1 - 3 は、事前に、分割フラッドマップ 7 1 1 を入力して分割結晶区分 7 3 1 を出力するようにパラメータが学習されている。機械学習モデル 5 3 1 - 3 としては、典型的には、フラッドマップ 7 1 における分割フラッドマップ 7 1 1 の位置に関わらず同一のモデルが使用される。このように、パッチ単位での学習により、機械学習モデル 5 3 1 - 3 を汎化することができる。なお、フラッドマップ 7 1 における分割フラッドマップ 7 1 1 の位置に応じて機械学習モデル 5 3 1 - 3 が用意されてもよい。

#### 【 0 0 8 0 】

10

次に処理回路 5 1 は、パッチサイズの複数の分割結晶区分 7 3 1 を統合して既存サイズの結晶区分 7 3 を生成する（ステップ S C 2）。ステップ S C 2 において処理回路 5 1 は、パッチサイズの複数の分割結晶区分 7 3 1 を各分割結晶区分の位置に従い貼り合わせるにより、既存サイズの結晶区分 7 3 を生成する。

#### 【 0 0 8 1 】

図 1 5 は、ステップ S C 2 において行われる統合処理を模式的に示す図である。図 1 5 に示すように、例えば、二つの分割結晶区分 7 3 1 が生成される。図 1 5 に示す二つの分割結晶区分 7 3 1 は、それぞれ図 1 4 に示す二つの分割フラッドマップ 7 1 1 に対応する。処理回路 5 1 は、二つの分割結晶区分 7 3 1 を各分割結晶区分 7 3 1 の位置に従い貼り合わせる。図 1 4 に示す二つの分割フラッドマップ 7 1 1 は一部領域 7 1 2 にて重複するので、二つの分割結晶区分 7 3 1 は、この一部領域 7 1 2 に対応する一部領域 7 3 2 にて重複するように貼り合わされる。なお、図 1 5 においては、視覚的な区別のため、上側の分割結晶区分 7 3 1 の区分線 7 3 1 1 を破線、下側の分割結晶区分 7 3 2 の区分線 7 3 1 2 を実線で表している。また、以下、一部領域 7 3 2 は重複領域 7 3 2 とも呼ぶ。

20

#### 【 0 0 8 2 】

一部領域 7 3 2 において各分割結晶区分 7 3 1 に描画される区分線が一致しない場合がある。例えば、図 1 5 に示すように、上側の分割結晶区分 7 3 1 の区分線 7 3 1 1 と下側の分割結晶区分 7 3 2 の区分線 7 3 1 2 とは、重複領域 7 3 2 において一致することが理想であるが、逸れる場合がある。処理回路 5 1 は、重複領域 7 3 2 における区分線 7 3 1 1 及び 7 3 1 2 の不一致を補正するため、重複領域 7 3 2 について、上側の分割結晶区分 7 3 1 と下側の分割結晶区分 7 3 2 との平均処理を実行する。平均処理では、区分線 7 3 1 1 と区分線 7 3 1 2 との平均的な位置、換言すれば、略中間の位置に線が描かれる。平均処理により、各分割結晶区分 7 3 1 における区分線の連続性を確保することができる。上記の通り、全ての分割結晶区分 7 3 1 について貼り合わせ処理と平均処理とが行われることにより、既存サイズの結晶区分 7 3 が生成される。

30

#### 【 0 0 8 3 】

結晶区分 7 3 が生成されると、図 6 に示すステップ S A 3 - S A 7 が行われる。

#### 【 0 0 8 4 】

上記の通り、応用例 1 によれば、フラッドマップ全体よりも小さいパッチ単位で機械学習モデル 5 3 1 - 3 の学習の生成を行うことができる。パッチ単位で学習することにより、機械学習モデル 5 3 1 - 3 の入出力データのサイズを削減することにより、結晶区分の描画精度を高めることができる。

40

#### 【 0 0 8 5 】

（応用例 2）

上記の実施形態において機械学習モデル 5 3 1 - 2 は、結晶区分を、典型的には、検出器バック又は検出器モジュール単位等の既存の単位で入出力するものとした。しかしながら、本実施形態はこれに限定されない。応用例 2 に係る機械学習モデルは、一の結晶区分を小領域（パッチ）単位で学習する。以下、応用例 2 に係る P E T 装置について説明する。なお以下の説明において、本実施形態と略同一の機能を有する構成要素については、同一符号を付し、必要な場合にのみ重複説明する。

50

## 【 0 0 8 6 】

応用例 2 に係る機械学習モデルは、パッチサイズの結晶区分と、当該結晶区分に比して精度が高い、パッチサイズの結晶区分とに基づいて学習される。処理回路 5 1 は、結晶区分生成機能 5 1 5 の実現により、処理対象のフラッドマップに自動区分化処理を適用して、処理対象のフラッドマップに関する仮結晶区分を生成し、生成された仮結晶区分からパッチサイズの結晶区分を生成する。次に処理回路 5 1 は、結晶区分生成機能 5 1 5 の実現により、機械学習モデルとパッチサイズの仮結晶区分とに基づいて、高精度のパッチサイズの結晶区分を生成し、生成された高精度のパッチサイズの結晶区分を仮結晶区分に統合して既存サイズの結晶区分を生成する。高精度の結晶区分とは、自動区分化処理により生成された結晶区分に比して、ユーザ等による人手の修正がなされた後の結晶区分に形状が近似していることを意味する。

10

## 【 0 0 8 7 】

図 1 6 は、応用例 2 に係る処理回路 5 1 による、フラッドマップ 8 1 から結晶区分 8 5 の生成処理の典型的な流れを模式的に示す図である。図 1 6 に示すように、まず、処理回路 5 1 は、フラッドマップ取得機能 5 1 4 の実現により、処理対象のフラッドマップ 8 1 を取得する。次に、処理回路 5 1 は、第一の結晶区分生成機能 5 1 5 の実現により、取得されたフラッドマップ 8 1 に自動区分化処理を施して、当該フラッドマップに関する既存サイズの仮結晶区分 8 3 を生成する（ステップ S D 1）。ステップ S D 1 は、図 1 0 及び図 1 1 のステップ S B 2 と同一である。次に処理回路 5 1 は、仮結晶区分 8 3 をパッチで切り抜き、パッチサイズの切り抜き後の結晶区分 8 3 1 を生成する（ステップ S D 2）。

20

## 【 0 0 8 8 】

図 1 7 は、パッチの適用位置の指定指示を受け付ける G U I を含む表示画面（切り抜き操作画面と呼ぶ）の一例を示す図である。図 1 7 に示すように、切り抜き操作画面は、処理回路 5 1 によりディスプレイ 5 2 に表示される。図 1 7 に示すように、切り抜き操作画面には、仮結晶区分 S L 3 が重畳されたフラッドマップ F M 3 が表示される。切り抜き操作画面には、入力インタフェース 5 4 を介して移動可能なパッチ P 1 が表示される。切り抜き操作画面には、例えば、パッチ P 2 による切り抜きを促すメッセージの表示欄 M S 2 が表示される。当該メッセージとしては、例えば、「修正箇所をパッチで切り抜いて下さい」が表示される。ユーザは、仮結晶区分 S L 3 を観察して仮結晶区分 S L 3 の精度を高めたい部分を見つけ出し、入力インタフェース 5 4 を介してパッチ P 1 を、当該部分に移動させる。ユーザは、パッチ P 1 の移動後、切り抜きボタン B 5 を押下する。

30

## 【 0 0 8 9 】

切り抜きボタン B 5 が押下された場合、処理回路 5 1 は、仮結晶区分 S L 3 のうちのパッチ P 1 により囲まれた領域を切り抜き、パッチサイズの切り抜き結晶区分 8 3 1 を生成する。次に処理回路 5 1 は、機械学習モデル 5 3 1 - 4 による切り抜き結晶区分 8 3 1 の修正処理が行われる。機械学習モデル 5 3 1 - 4 は、事前に、パッチサイズの結晶区分である入力データと、当該結晶区分に比して精度が高い、パッチサイズの結晶区分である教師データとに基づいて学習される。処理回路 5 1 は、パッチサイズの切り抜き結晶区分 8 3 1 を機械学習モデル 5 3 1 - 4 に適用して、より精度の高い、パッチサイズの切り抜き結晶区分 8 3 2 を生成する。

40

## 【 0 0 9 0 】

図 1 7 に示すように、切り抜き操作画面には、更に、戻るボタン B 4 及び追加ボタン B 6 が選択可能に表示される。追加ボタン B 6 が押下された場合、処理回路 5 1 は、更なるパッチ P 2 による適用位置の指定指示を受け付ける。指定指示がなされると処理回路 5 1 は、更になる適用位置についてパッチ P 2 を適用し、切り抜き結晶区分 8 3 1 を生成し、

50

生成された切り抜き結晶区分 8 3 1 を機械学習モデル 5 3 1 - 4 に適用してパッチサイズの切り抜き結晶区分 8 3 2 を生成する。ユーザは、機械学習モデル 5 3 1 - 4 による修正を撤回したいと判断した場合、入力インタフェース 5 4 を介して戻るボタン B 4 を押下する。戻るボタン B 4 が押下された場合、処理回路 5 1 は、機械学習モデル 5 3 1 - 4 の適用前の仮結晶区分 S L 3 を表示する。

【 0 0 9 1 】

切り抜き結晶区分 8 3 2 の生成後、処理回路 5 1 は、パッチサイズの切り抜き結晶区分 8 3 2 を既存サイズの仮結晶区分 8 3 に統合し、既存サイズの高精度の結晶区分 8 5 を生成する（ステップ S D 3 ）。

【 0 0 9 2 】

図 1 8 は、図 1 6 の統合処理において統合される、パッチサイズの切り抜き結晶区分 8 3 2 と既存サイズの仮結晶区分 8 3 との関係を示す図である。図 1 8 に示すように、処理回路 5 1 は、切り抜き結晶区分 8 3 2 を当該切り抜き結晶区分 8 3 2 の位置に従い既存サイズの仮結晶区分 8 3 に貼り合わせ、切り抜き結晶区分 8 3 2 と仮結晶区分 8 3 とに平均処理を行う。貼り合わせ処理及び平均処理は応用例 1 と同様である。これにより高精度の結晶区分 8 5 が生成する。

【 0 0 9 3 】

結晶区分 8 5 が生成されると、図 1 0 に示すステップ S B 4 - S B 8 が行われる。

【 0 0 9 4 】

上記の通り、応用例 2 によれば、フラッドマップ全体よりも小さいパッチ単位で機械学習モデル 5 3 1 - 4 の学習を行うことができる。パッチ単位で学習することにより、機械学習モデル 5 3 1 - 4 の入出力データのサイズを削減することにより、結晶区分の描画精度を高めることができる。

【 0 0 9 5 】

また、上記の実施形態において、機械学習モデル 5 3 1 （又は変形例に係る機械学習モデル 5 3 1 - 2、5 3 1 - 3、5 3 1 - 4 ）はメモリ 5 3 に記憶される深層ニューラルネットワーク又はパラメータ付き合成関数であるとし、処理回路 5 1 は当該機械学習モデル 5 3 1 （又は変形例に係る機械学習モデル 5 3 1 - 2、5 3 1 - 3、5 3 1 - 4 ）に従い結晶区分を生成するものとした。しかしながら、本実施形態はこれに限定されない。処理回路 5 1 は、フラッドマップを入力して結晶区分を出力するように構築された機械学習構造を利用して、処理対象のフラッドマップから処理対象のフラッドマップにおける結晶区分を生成するものであれば、如何なる形態であっても良い。本実施形態に係る機械学習構造は、プロセッサに実現させる機能を記述する機械学習モデルのソフトウェア的な構成と、機械学習モデルが記述する機能を実現する回路のハードウェア的な構成とを包含する。

【 0 0 9 6 】

例えば、処理回路 5 1 は、フラッドマップを入力して結晶区分を出力するように構築された機械学習構造を有する特定用途向け集積回路（Application Specific Integrated Circuit：ASIC）、プログラマブル論理デバイス（例えば、単純プログラマブル論理デバイス（Simple Programmable Logic Device：SPLD）、複合プログラマブル論理デバイス（Complex Programmable Logic Device：CPLD）、及びフィールドプログラマブルゲートアレイ（Field Programmable Gate Array：FPGA））等の集積回路を装備しても良い。当該集積回路は、フラッドマップを入力して結晶区分を出力するようにパラメータが学習された機械学習モデル 5 3 1 と同様の機能を実現する回路構成を有する。

【 0 0 9 7 】

同様に、処理回路 5 1 は、フラッドマップと結晶区分とを入力して、入力結晶区分に比して精度が高い結晶区分を出力するように構築された機械学習構造を利用して、処理対象のフラッドマップと結晶区分とから精度が高い結晶区分を生成するものであれば、如何なる形態であっても良い。例えば、処理回路 5 1 は、フラッドマップと結晶区分とを入力して精度が高い結晶区分を出力するように構築された機械学習構造を有する ASIC、SPLD、CPLD 及び FPGA 等の集積回路を装備しても良い。

10

20

30

40

50

## 【 0 0 9 8 】

以上説明した少なくとも1つの実施形態によれば、フラッドマップの区分けを簡便且つ正確に行うことができる。

## 【 0 0 9 9 】

上記説明において用いた「プロセッサ」という文言は、例えば、CPU、GPU、或いは、ASIC、SPLD、CPLD及びFPGA等の集積回路を意味する。プロセッサは記憶回路に保存されたプログラムを読み出し実行することで機能を実現する。なお、記憶回路にプログラムを保存する代わりに、プロセッサの回路内にプログラムを直接組み込むよう構成しても構わない。この場合、プロセッサは回路内に組み込まれたプログラムを読み出し実行することで機能を実現する。また、プログラムを実行するのではなく、論理回路の組合せにより当該プログラムに対応する機能を実現しても良い。なお、本実施形態の各プロセッサは、プロセッサごとに単一の回路として構成される場合に限らず、複数の独立した回路を組み合わせることで1つのプロセッサとして構成し、その機能を実現するようにしてもよい。さらに、図1及び図12における複数の構成要素を1つのプロセッサへ統合してその機能を実現するようにしてもよい。

10

## 【 0 1 0 0 】

本発明のいくつかの実施形態を説明したが、これらの実施形態は、例として提示したものであり、発明の範囲を限定することは意図していない。これら実施形態は、その他の様々な形態で実施されることが可能であり、発明の要旨を逸脱しない範囲で、種々の省略、置き換え、変更を行うことができる。これら実施形態やその変形は、発明の範囲や要旨に含まれると同様に、特許請求の範囲に記載された発明とその均等の範囲に含まれるものである。

20

## 【 符号の説明 】

## 【 0 1 0 1 】

- 1 PET装置
- 10 ガントリ
- 11 検出器リング
- 13 検出処理器
- 15 同時計数回路
- 17 ガンマ線検出器
- 19 処理回路
- 21 メモリ
- 23 重心演算機能
- 25 エネルギー演算機能
- 27 重心／結晶テーブル
- 30 寝台
- 50 医用情報処理装置（コンソール）
- 51 処理回路
- 52 ディスプレイ
- 53 メモリ
- 54 入力インタフェース
- 55 通信インタフェース
- 511 再構成機能
- 512 画像処理機能
- 513 撮像制御機能
- 514 フラッドマップ取得機能
- 515 結晶区分生成機能
- 516 結晶区分修正機能
- 517 テーブル生成機能
- 518 モデル更新機能

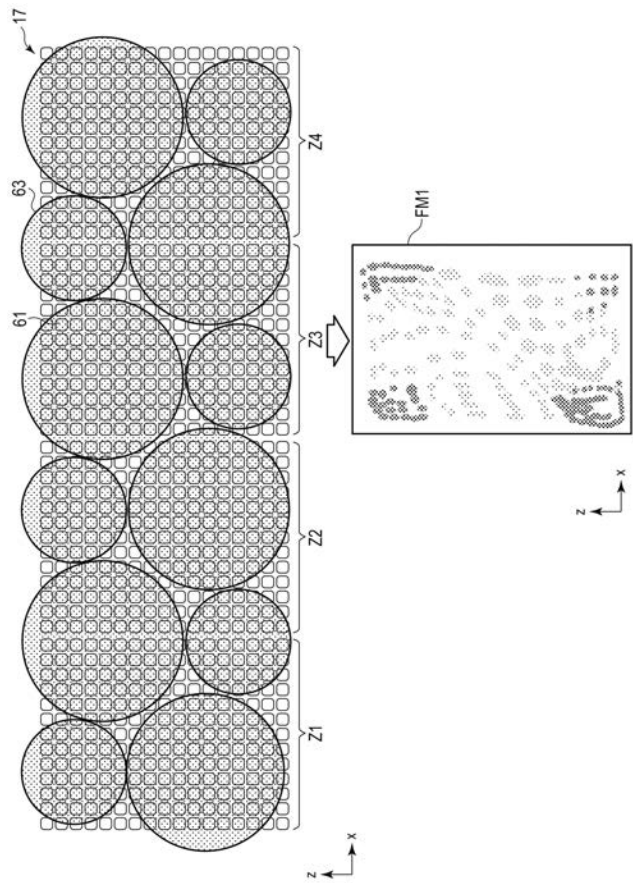
30

40

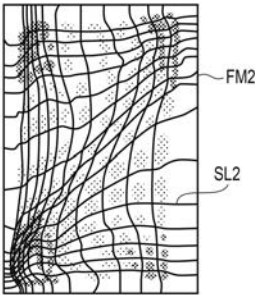
50



【図 3】



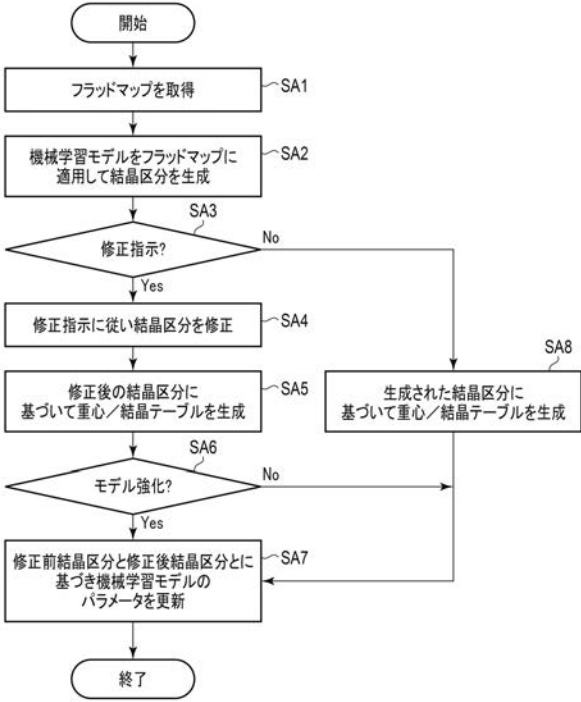
【図 4】



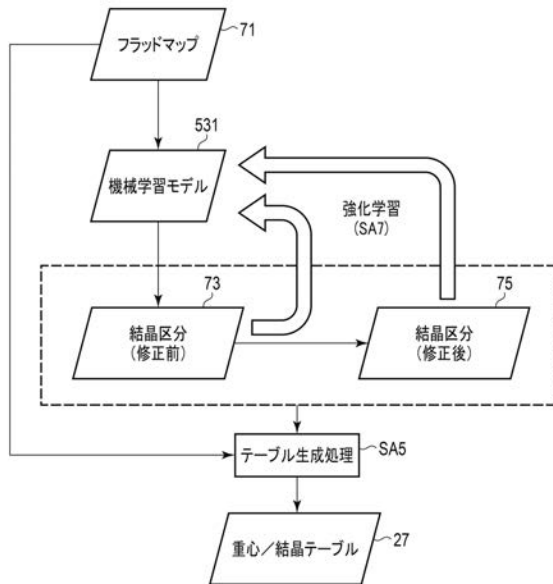
【図 5】

| 重心        | シンチレータ結晶 |
|-----------|----------|
| $(x1,z1)$ | C1       |
| $(x1,z2)$ | C1       |
| $\vdots$  | $\vdots$ |
| $(xN,zN)$ | CM       |

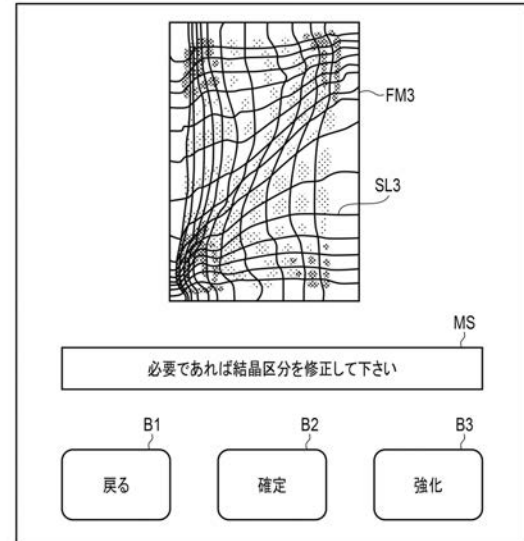
【図 6】



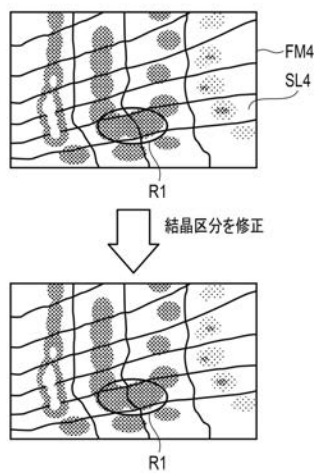
【図 7】



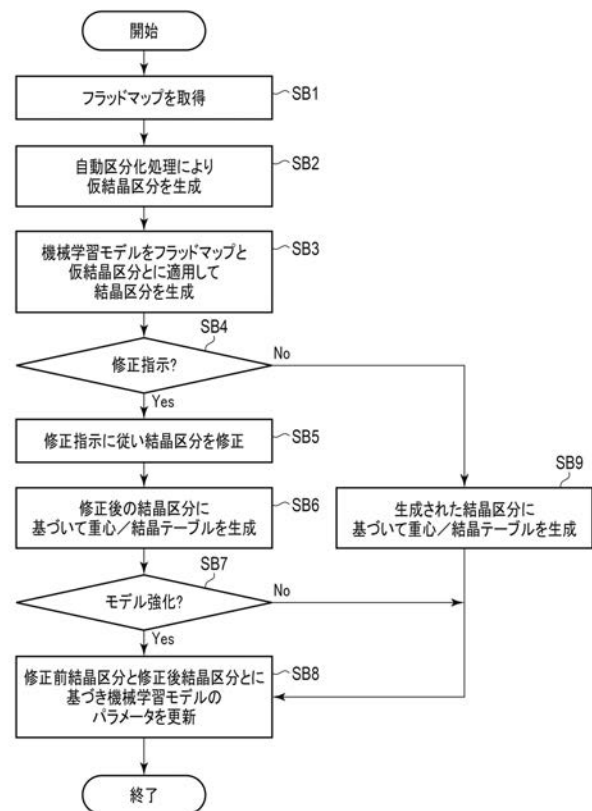
【図 8】



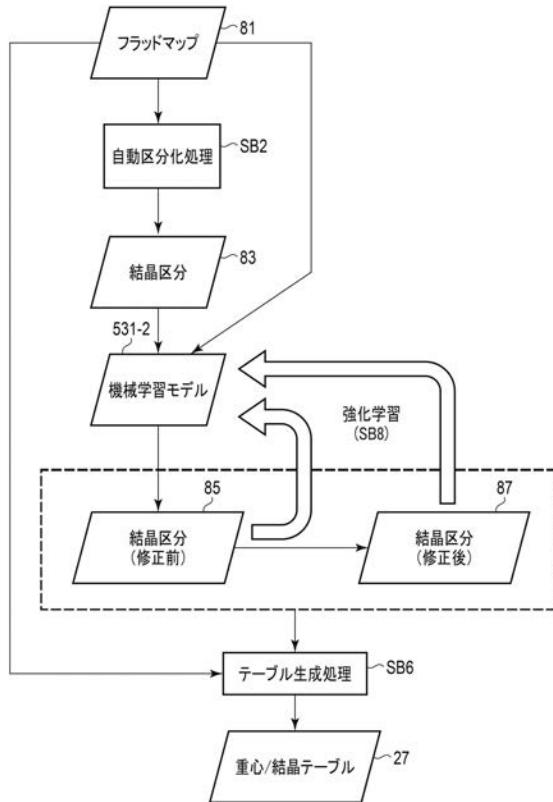
【図 9】



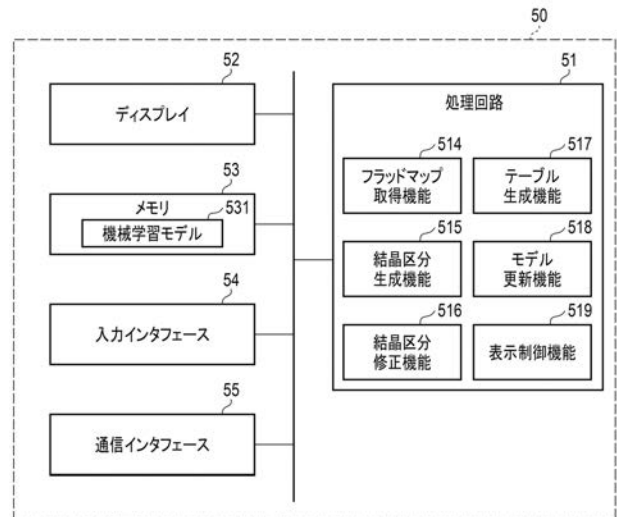
【図 10】



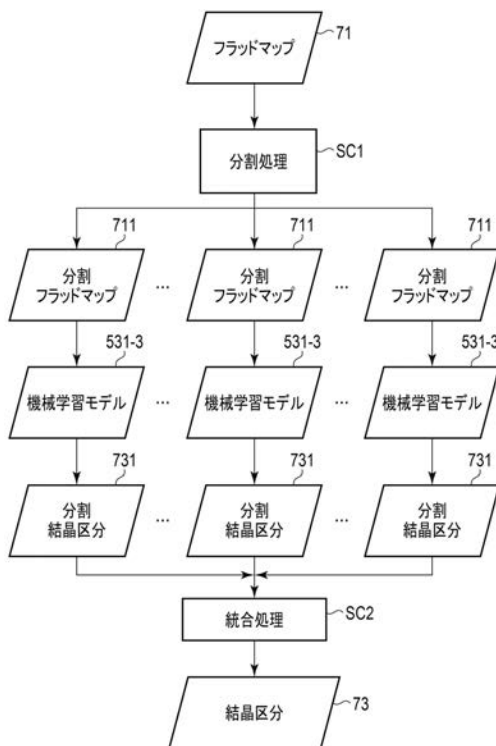
【図 1 1】



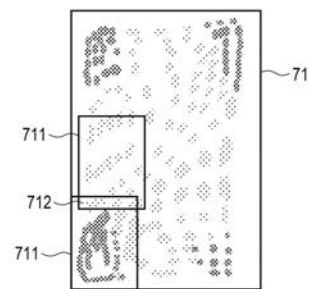
【図 1 2】



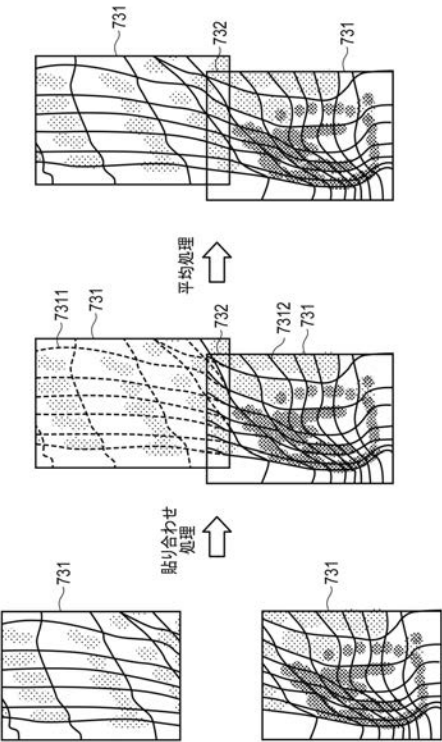
【図 1 3】



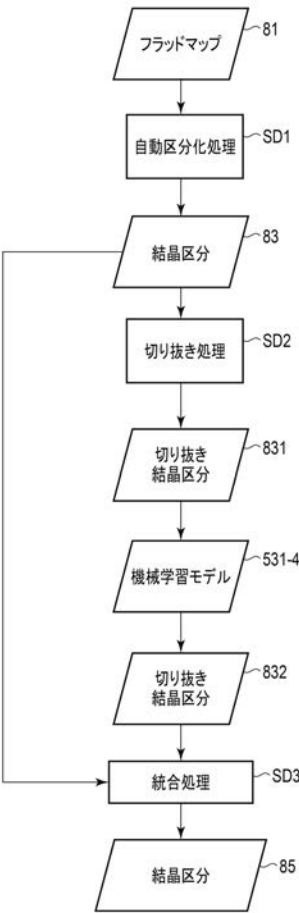
【図 1 4】



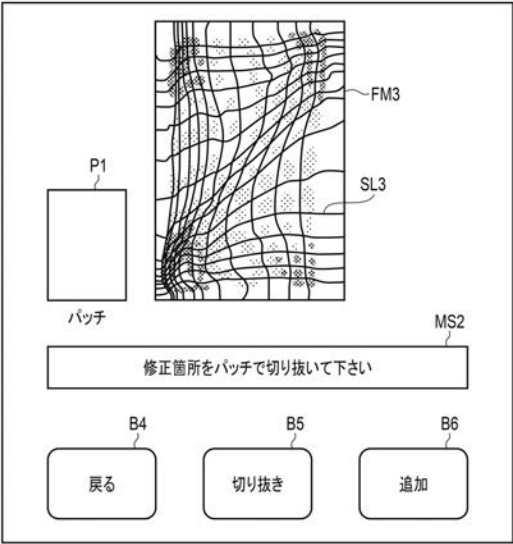
【図 15】



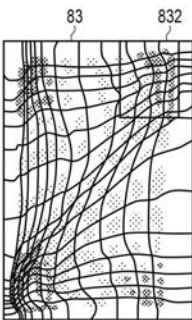
【図 16】



【図 17】



【図 18】



---

フロントページの続き

(72)発明者 勅使川原 学

栃木県大田原市下石上 1 3 8 5 番地 キヤノンメディカルシステムズ株式会社内

Fターム(参考) 2G188 AA02 BB04 BB07 BB15 BB18 CC12 CC21 CC22 DD05 EE07

EE16 EE25 EE29 EE36 GG05 GG09

4C188 EE02 FF04 FF07 GG18 JJ02 KK15 KK22 KK33 LL13