

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第6423415号
(P6423415)

(45) 発行日 平成30年11月14日(2018.11.14)

(24) 登録日 平成30年10月26日(2018.10.26)

(51) Int.Cl.

G O 1 N 23/046 (2018.01)

F 1

G O 1 N 23/046

請求項の数 18 (全 23 頁)

(21) 出願番号 特願2016-506354 (P2016-506354)
 (86) (22) 出願日 平成26年3月31日 (2014.3.31)
 (65) 公表番号 特表2016-517959 (P2016-517959A)
 (43) 公表日 平成28年6月20日 (2016.6.20)
 (86) 國際出願番号 PCT/US2014/032422
 (87) 國際公開番号 WO2014/165455
 (87) 國際公開日 平成26年10月9日 (2014.10.9)
 審査請求日 平成29年3月31日 (2017.3.31)
 (31) 優先権主張番号 61/808,424
 (32) 優先日 平成25年4月4日 (2013.4.4)
 (33) 優先権主張国 米国(US)

(73) 特許権者 591203428
 イリノイ トゥール ワークス インコーポレイティド
 アメリカ合衆国, イリノイ 60025,
 グレンビュー, ハーレム アベニュー 15
 5
 (74) 代理人 100099759
 弁理士 青木 篤
 (74) 代理人 100102819
 弁理士 島田 哲郎
 (74) 代理人 100123582
 弁理士 三橋 真二
 (74) 代理人 100153084
 弁理士 大橋 康史

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】ヘリカルコンピュータートモグラフィー

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

X線撮像システムであって、
 X線発生器と、
 放射線検出器と、
 前記X線発生器によって放射されるX線ビームの軸に対して垂直に配置される回転軸を有する回転ステージと、
 前記回転ステージの前記回転軸に沿って配置される動作軸を有する直線並進ステージと、
 前記回転ステージの回転動作と前記直線並進ステージの直線動作とを同期させる動作制御システムと、
 データ取得システムとを具備し、
 前記データ取得システムが、
 ユーザー入力パラメーターを受信し、
 少なくとも部分的に前記ユーザー入力パラメーターに基づいて、ラジオグラフを取得するように前記X線撮像システムを構成し、
 少なくとも部分的に前記ラジオグラフに基づいて、前記回転ステージ上の物体の3次元画像を生成するように構成される1または複数のプロセッサとを備え、
 前記3次元画像を生成するとき、前記データ取得システムは、下記のガウス型の加重逆投影フィルタリング関数を前記ラジオグラフに適用して、低角のスライスに一層大きな重

み付けるようにした X 線撮像システム。

【数 1】

$$f_i = \sum_{n=1}^N g_n \cdot k_n^2 \cdot p_{nuv}$$

ここで、

【数 2】

$$g = \exp \left[-\frac{x^2}{2\sigma^2} \right]$$

10

【数 3】

$$k = \frac{d}{d'}$$

であり、 x は、ある点 f_i から、前記 X 線発生器と前記放射線検出器の中心を結ぶ軸線上で点 f_i に最も近い点までの距離であり、 d は、前記 X 線発生器から前記放射線検出器までの距離であり、 d' は、前記 X 線発生器から前記軸線上の前記点までの距離であり、 p_{nuv} は、前記放射線検出器上の位置 (u, v) に対して検知された値である。

【請求項 2】

20

前記放射線検出器はフラットパネル放射線検出器を含む請求項 1 に記載の X 線撮像システム。

【請求項 3】

前記 X 線発生器は、20 keV ~ 600 keV のエネルギー範囲を有する X 線を与える請求項 1 に記載の X 線撮像システム。

【請求項 4】

前記放射線検出器はレンズ結合高解像度 X 線検出器を含む請求項 1 に記載の X 線撮像システム。

【請求項 5】

前記レンズ結合高解像度 X 線検出器は、0.1 マイクロメートル ~ 10 マイクロメートルの範囲内のピクセルサイズを有する請求項 4 に記載の X 線撮像システム。

30

【請求項 6】

前記放射線検出器は、25 マイクロメートルから 300 マイクロメートルに及ぶピクセルサイズを有するフラットパネル検出器を含む請求項 5 に記載の X 線撮像システム。

【請求項 7】

前記放射線検出器はフラットパネル検出器を含み、前記 X 線撮像システムは、少なくとも前記レンズ結合高解像度 X 線検出器と前記フラットパネル検出器とを切り替える機械式機構を更に備える請求項 4 に記載の X 線撮像システム。

【請求項 8】

前記放射線検出器は、線形ダイオードアレイ型放射線検出器を含む請求項 1 に記載の X 線撮像システム。

40

【請求項 9】

前記ユーザー入力パラメーターは直線スキャン範囲を含み、

前記データ取得システムの前記 1 または複数のプロセッサは、

前記直線スキャン範囲に少なくとも部分的に基づいて、1 または複数の更なるデータ取得パラメーターを決定する 1 または複数のアルゴリズムを使用し、

前記 1 または複数の更なるデータ取得パラメーターに少なくとも部分的に基づいて、前記ラジオグラフを取得するように前記 X 線撮像システムを構成するように構成される請求項 1 に記載の X 線撮像システム。

【請求項 10】

50

ユーザー入力パラメーターを受信し、
少なくとも部分的に前記ユーザー入力パラメーターに基づいて、ラジオグラフを取得する
ようにX線撮像システムを構成し、
少なくとも部分的に前記ラジオグラフに基づいて3次元画像を生成することを含む方
法であって、
前記X線撮像システムが、
X線発生器と、
1または複数の放射線検出器と、
前記X線発生器によって放射されるX線ビームの軸に対して垂直に配置される回転軸を
有する回転ステージと、
前記回転ステージの前記回転軸に沿って配置される動作軸を有する直線並進ステージと
、
前記回転ステージの回転動作と前記直線並進ステージの直線動作とを同期させる動作制
御システムとを備え、
前記3次元画像を生成するとき、データ取得システムが、下記のガウス型の加重逆投影
フィルタリング関数を前記ラジオグラフに適用して、低角のスライスに一層大きな重み付
けるようにした方法。

【数4】

$$f_i = \sum_{n=1}^N g_n \cdot k_n^2 \cdot p_{n u v}$$

ここで、

【数5】

$$g = \exp \left[-\frac{x^2}{2 \sigma^2} \right]$$

【数6】

$$k = \frac{d}{d'}$$

であり、 x は、ある点 f_i から、前記X線発生器と前記放射線検出器の中心を結ぶ軸線上
で点 f_i に最も近い点までの距離であり、 d は、前記X線発生器から前記放射線検出器ま
での距離であり、 d' は、前記X線発生器から前記軸線上の前記点までの距離であり、 $p_{n u v}$
は、前記放射線検出器上の位置 (u, v) に対して検知された値である。

【請求項11】

前記X線発生器は、20keV～600keVのエネルギー範囲を有するX線を与える
請求項10に記載の方法。

【請求項12】

前記放射線検出器はレンズ結合高解像度X線検出器を含む請求項10に記載の方法。

【請求項13】

前記レンズ結合高解像度X線検出器は、0.1マイクロメートル～10マイクロメート
ルの範囲内のピクセルサイズを有する請求項12に記載の方法。

【請求項14】

前記放射線検出器は、25マイクロメートルから300マイクロメートルに及ぶピクセ
ルサイズを有するフラットパネル検出器を含む請求項13に記載の方法。

【請求項15】

前記放射線検出器はフラットパネル検出器を含み、前記X線撮像システムは、少
なくとも前記レンズ結合高解像度X線検出器と前記フラットパネル検出器とを切り替
える機械式機構を更に備える請求項11に記載の方法。

10

20

30

40

50

【請求項 16】

前記放射線検出器は、線形ダイオードアレイ型放射線検出器を含む請求項 10 に記載の方法。

【請求項 17】

前記ユーザー入力パラメーターは直線スキャン範囲を含み、

前記方法は、

前記直線スキャン範囲に少なくとも部分的に基づいて、1 または複数の更なるデータ取得パラメーターを決定する 1 または複数のアルゴリズムを使用することと、

前記 1 または複数の更なるデータ取得パラメーターに少なくとも部分的に基づいて、前記ラジオグラフを取得するように前記 X 線撮像システムを構成することとを更に含む請求項 10 に記載の方法。

【請求項 18】

非一時的コンピューター可読データ記憶媒体であって、実行されると、コンピューティングシステムに、

ユーザー入力パラメーターを受信させ、

少なくとも部分的に前記ユーザー入力パラメーターに基づいてラジオグラフを取得するように、

X 線発生器と、

1 または複数の放射線検出器と、

前記 X 線発生器によって放射される X 線ビームの軸に対して垂直に配置される回転軸を有する回転ステージと、

前記回転ステージの前記回転軸に沿って配置される動作軸を有する直線並進ステージと、

前記回転ステージによって支持されるサンプル上の点がスパイラルパターンまたはヘリカルパターンを描くように、前記回転ステージの回転動作と前記直線並進ステージの直線動作とを同期させる動作制御システムとを備える X 線撮像システムを構成させ、

少なくとも部分的に前記ラジオグラフに基づいて 3 次元画像を生成させる命令とを記憶し、

前記 3 次元画像を生成するとき、データ取得システムが、下記のガウス型の加重逆投影フィルタリング関数を前記ラジオグラフに適用して、低角のスライスに一層大きな重み付けるようにした非一時的コンピューター可読データ記憶媒体。

【数 7】

$$f_i = \sum_{n=1}^N g_n \cdot k_n^2 \cdot p_{nuv}$$

ここで、

【数 8】

$$g = \exp \left[-\frac{x^2}{2\sigma^2} \right]$$

【数 9】

$$k = \frac{d}{d'}$$

であり、 x は、ある点 f_i から、前記 X 線発生器と前記放射線検出器の中心を結ぶ軸線上で点 f_i に最も近い点までの距離であり、 d は、前記 X 線発生器から前記放射線検出器までの距離であり、 d' は、前記 X 線発生器から前記軸線上の前記点までの距離であり、 p_{nuv} は、前記放射線検出器上の位置 (u, v) に対して検知された値である。

【発明の詳細な説明】

10

20

30

40

50

【技術分野】**【0001】**

本出願は、2013年4月4日に出願された米国仮特許出願第61/808424号の利益を主張する。この米国仮特許出願の全内容は、引用することによって本明細書の一部をなす。

【0002】

本開示は、コンピュータトモグラフィーに関する。

【背景技術】**【0003】**

X線コンピュータトモグラフィー(CT)は、コンピューター処理されたX線を用いて物体の断層画像を作成する手順である。物体の断層画像は、概念上は物体の2次元「スライス」の画像である。コンピューティングデバイスは、物体の断層画像を用いて、物体の3次元画像を生成することができる。X線CTは、物体の非破壊評価を行うために産業目的に用いることができる。

10

【発明の概要】**【0004】**

包括的には、本開示はヘリカル(すなわち、スパイラル)コンピュータトモグラフィー(CT)のためのX線撮像システムを記述する。そのX線撮像システムは、X線発生器と、1または複数の放射線検出器と、回転ステージと、直線並進ステージと、動作制御システムと、データ取得システムとを備える。X線発生器は、扇形または円錐形のX線ビームを放射することができる。回転ステージは、X線ビームの軸に対して実質的に垂直に配置される回転軸を有する。直線並進ステージは、回転ステージの回転軸と位置合わせされた軸に沿って回転ステージを直線的に移動させるように構成される。動作制御システムは、回転ステージによって支持されるサンプル上の点がスパイラルパターンまたはヘリカルパターンを描くように、回転ステージの回転動作と、直線並進ステージの直線動作とを同期させる。このようにして、回転ステージは、1つの軸の回りを回転しながら、同じ軸に沿って直線的に移動することができる。データ取得システムは、ユーザー入力パラメーターを受信するように構成される1または複数のプロセッサを備える。ユーザー入力パラメーターに少なくとも部分的に基づいて、1または複数のプロセッサは、ラジオグラフを取得するようにX線撮像システムを構成する。1または複数のプロセッサは、ラジオグラフに少なくとも部分的に基づいて3次元画像を生成する。

20

【0005】

1つの例では、本開示は、X線撮像システムであって、X線発生器と、1または複数の放射線検出器と、前記X線発生器によって放射されるX線ビームの軸に対して垂直に配置される回転軸を有する回転ステージと、前記回転ステージの前記回転軸に沿って配置される動作軸を有する直線並進ステージと、前記回転ステージによって支持されるサンプル上の点がスパイラルパターンまたはヘリカルパターンを描くように、前記回転ステージの回転動作と前記直線並進ステージの直線動作とを同期させる動作制御システムと、データ取得システムであって、ユーザー入力パラメーターを受信し、少なくとも部分的に前記ユーザー入力パラメーターに基づいて、ラジオグラフを取得するように前記X線撮像システムを構成し、少なくとも部分的に前記ラジオグラフに基づいて、3次元画像を生成するように構成される1または複数のプロセッサを備える、データ取得システムとを備える、X線撮像システムを記載している。

30

【0006】

別の例では、本開示は、ユーザー入力パラメーターを受信することと、少なくとも部分的に前記ユーザー入力パラメーターに基づいて、ラジオグラフを取得するようにX線撮像システムを構成することであって、前記X線撮像システムは、X線発生器と、1または複数の放射線検出器と、前記X線発生器によって放射されるX線ビームの軸に対して垂直に配置される回転軸を有する回転ステージと、前記回転ステージの前記回転軸に沿って配置される動作軸を有する直線並進ステージと、前記回転ステージによって支持されるサンプ

40

50

ル上の点がスパイラルパターンまたはヘリカルパターンを描くように、前記回転ステージの回転動作と前記直線並進ステージの直線動作とを同期させる動作制御システムとを備えることと、少なくとも部分的に前記ラジオグラフに基づいて、3次元画像を生成することとを含む、方法を記載している。

【0007】

別の例では、本開示は、非一時的コンピューター可読データ記憶媒体であって、実行されるときに、コンピューティングシステムに、ユーザー入力パラメーターを受信させる命令と、少なくとも部分的に前記ユーザー入力パラメーターに基づいて、ラジオグラフを取得するようにX線撮像システムを構成させる命令であって、前記X線撮像システムは、X線発生器と、1または複数の放射線検出器と、前記X線発生器によって放射されるX線ビームの軸に対して垂直に配置される回転軸を有する回転ステージと、前記回転ステージの前記回転軸に沿って配置される動作軸を有する直線並進ステージと、前記回転ステージによって支持されるサンプル上の点がスパイラルパターンまたはヘリカルパターンを描くように、前記回転ステージの回転動作と前記直線並進ステージの直線動作とを同期させる動作制御システムとを備える、構成させる命令と、少なくとも部分的に前記ラジオグラフに基づいて、3次元画像を生成させる命令とを記憶している、非一時的コンピューター可読データ記憶媒体を記載している。

【0008】

1または複数の例の詳細は、添付図面および以下の説明に明らかにされている。他の特徴、目的、および利点は、以下の説明、図面、および特許請求の範囲から明らかである。

【図面の簡単な説明】

【0009】

【図1】本開示の1または複数の例による、例示的な機器構成を示す、概略的要素およびブロック要素の両方を有するシステム図である。

【図2】本開示の1または複数の技術による、例示的なレンズ結合高解像度X線検出器を示すブロック図である。

【図3A】本開示の1または複数の技術による、例示的なシステムパラメーター設定インターフェースを示す図である。

【図3B】本開示の1または複数の技術による、例示的な従来の（すなわち、非スパイラル）コンピュータートモグラフィー（CT）スキャン設定インターフェースを示す図である。

【図3C】本開示の1または複数の技術による、別の例示的な従来の（すなわち、非スパイラル）CTスキャン設定インターフェースを示す図である。

【図3D】本開示の1または複数の技術による、例示的なスパイラルCTスキャン設定インターフェースを示す図である。

【図3E】本開示の1または複数の技術による、別の例示的なスパイラルCTスキャン設定インターフェースを示す図である。

【図3F】本開示の1または複数の技術による、例示的な画像プレビューインターフェースを示す図である。

【図4A】スパイラルCTを用いて得られた例示的な3次元構造のボリュームレンダリングを示す図である。

【図4B】図4Aの3次元構造の第1の例示的な断面画像を示す図である。

【図4C】図4Aの3次元構造の第2の例示的な断面画像を示す図である。

【図4D】図4Aの3次元構造の第3の例示的な断面画像を示す図である。

【図4E】図4Aの3次元構造の例示的な断面画像を示す図である。

【図5】本開示の1または複数の技術による、加重逆投影機能構成の概念図である。

【図6】本開示の1または複数の技術による、工業用CTシステムの例示的な動作を示す流れ図である。

【発明を実施するための形態】

【0010】

10

20

30

40

50

X線コンピュータトモグラフィー(CT)は、医療用撮像および工業用非破壊評価(NDE)において、非侵襲的に、または非破壊的に3次元構造を得る一般的に使用される技術である。本開示の技術はX線CT技術を用いて物体(例えば、細長い物体)の3次元(3D)構造を得るための装置を提供する。また、本開示の技術は、機器使用、ユーザー制御機構、およびその装置のソフトウェアアルゴリズムも提供する。その装置は、岩石コアサンプルのような自然に発生した物体、および製造されたコンポーネントおよびシステムのNDEのために使用することができる。その装置は、X線源と、放射線検出器と、回転ステージとを備えることができる。回転ステージは、種々の視角においてラジオグラフを得るようにサンプルを回転させることができる。X線源、放射線検出器および回転ステージはそれぞれ、X線源、放射線検出器および回転ステージを異なる幾何学的構成に配置するために、直線位置決めステージ上に取り付けることができる。本開示において説明される1つの例示的な構成では、そのシステムは、0.5マイクロメートルから100マイクロメートルに及ぶ解像度を提供することができる。

【0011】

図1は、本開示の1または複数の例による、例示的な機器構成を示す、概略的要素およびブロック要素の両方を有するシステム図である。図1の例において示されるように、工業用CTシステム10が、X線源12と、放射線検出器14と、コンピューティングシステム22とを備えることができる。図1の例には示されないが、工業用CTシステム10は、放射線検出器14に加えて、1または複数の放射線検出器を備えることができる。

【0012】

回転ステージ16上にサンプルを取り付けることができる。例示的なタイプのサンプルは、機械類、岩石コア、または他のタイプの物体を含む。一般的な例では、回転ステージ16の回転軸17は、X線ビーム軸19(すなわち、X線発生器12によって放射されるX線ビーム18の軸)に対して垂直である。従って、工業用CTシステム10は、X線ビーム18内でサンプルが回転するときに、異なる投影角においてラジオグラフを取得することができる。図1の例では、X線ビーム18は円錐形である。他の例では、X線ビーム18は扇形である。幾つかの例において、X線源12は20keV~600keVのエネルギー範囲を有するX線を与えることができる。

【0013】

さらに、工業用CTシステム10は、垂直に移動することができる垂直ステージ20を含むことができる。垂直ステージ20が垂直に移動するときに回転ステージ16が垂直に移動するように、回転ステージ16が垂直ステージ20に取り付けられるか、または別な方法で結合される。回転ステージ16および/または垂直ステージ20によって支持されるサンプル上の点がスパイラルパターンまたはヘリカルパターンを描くように、垂直ステージ20の動作は回転ステージ16の回転動作と同期することができる。他の例では、回転ステージ16は、他の方向に直線的に移動することができる。例えば、工業用CTシステム10は、垂直以外の方向に回転ステージ16を移動させるステージを含むことができる。従って、本開示は、垂直ステージ20を「直線並進ステージ20」と呼ぶ場合がある。このようにして、工業用CTシステム10は、回転ステージ16の回転軸に沿って配置された動作軸を有する直線並進ステージを備えることができる。回転ステージ16の回転軸17に沿って直線並進ステージ20が移動する結果として、回転ステージ16(および回転ステージ16上に取り付けられた任意のサンプル)が回転ステージ16の回転軸17に沿って移動する。

【0014】

放射線検出器14は、図1の例において示されるようなフラットパネルX線�出器(FPD)を備えることができる。他の例では、放射線検出器14は、レンズ結合シンチレーション検出器、線形ダイオードアレイ(LDA)、または放射線を検出する別のタイプのデバイスを備えることができる。このようにして、工業用CTシステム10は、フラットパネル放射線検出器、レンズ結合高解像度X線検出器、および線形ダイオードアレイ放射線検出器のうちの少なくとも1つを含む、1または複数の放射線検出器を備えることができる。

10

20

30

40

50

きる。

【0015】

さらに、図1の例では、工業用CTシステム10は、コンピューティングシステム22を備える。コンピューティングシステム22は、パーソナルコンピューター、ラップトップコンピューター、サーバーコンピューター、メインフレームコンピューター、専用コンピューター等の1または複数のコンピューティングデバイスを備えることができる。幾つかの例において、コンピューティングシステム22は、工業用CTシステム10の他のコンポーネントから遠隔して位置することができる。例えば、コンピューティングシステム22は、工業用CTシステム10の他のコンポーネントのユーザーの視点から見て、「クラウド」内に存在することができる。

10

【0016】

コンピューティングシステム22は、動作制御システム24およびコンピューター制御データ取得システム26を実現することができる。動作制御システム24は、回転ステージ16の回転動作と、直線並進ステージ20の直線動作とを同期させることができる。他の例では、動作制御システム24は、データ取得システム24とは別に(正:separately from)実現することができる。

【0017】

データ取得システム26は、1または複数のユーザーから入力パラメーターを受信することができる。幾つかの例において、データ取得システム26は、入力パラメーターのユーザー入力の指示を(例えば、キーボード、タッチスクリーン等の入力デバイスから、または遠隔コンピューティングデバイスから)受信することができる。データ取得システム26は、ユーザー入力パラメーターに少なくとも部分的に基づいて、ラジオグラフを取得するようにX線撮像システムを構成することができる。さらに、データ取得システム26は、放射線検出器14(および/または工業用CTシステム10の他の放射線検出器)からラジオグラフを取得し、ラジオグラフをデジタル形式で記録し、ラジオグラフを処理することができる。例えば、データ取得システム26は、ラジオグラフに少なくとも部分的に基づいて、3次元画像を生成することができる。このようにして、データ取得システム26は、ラジオグラフを取得し、ラジオグラフをデジタル形式で記録し、ラジオグラフから3次元画像を再構成することができる。

20

【0018】

例示的なCTサイクルでは、特定の間隔においてラジオグラフを取得しながら、180度の範囲にわたって被試験サンプルを回転させることができる。その後、ラジオグラフを数学的に組み合わせて、被試験サンプルの3D構造を表す3Dボリュームデータを生成することができる。このタイプの構成には、X線ビームコーンに露光されるサンプルの部分しか試験することができないので、視野が限られる場合があるという不都合がある。それゆえ、細長い物体の場合、各CTサイクル中に、部分的なボリュームしか撮像することができない。完全なサンプルを撮像するには、サンプルの異なる部分に関して別々に一連の複数のCTサイクルを実行しなければならず、完全な構造の画像を得るために、その後、結果として生成された一連の3D画像を数値的に繋ぎ合わせなければならない。

30

【0019】

本開示の技術は、その動作軸がサンプルの長軸に平行である電動直線ステージを使用することによって、この制約を克服することができる。CTスキャン中に、直線ステージ(例えば、直線並進ステージ20)は、回転ステージ16の回転動作と同期するようにして、X線ビームコーン(例えば、X線ビーム18)を横切るようにサンプル全体を絶えず移動させることができる。この更なる動作によって、サンプル上の点が実効的にはスパイラルパターンまたはヘリカルパターンを描くことができる。それゆえ、この手法は、本明細書において、スパイラルCTまたはヘリカルCTと呼ばれる場合がある。この技術を用いて、ユーザーの介入も、更なる数値的繋ぎ合わせも必要とすることなく、細長いサンプルを一度のサイクルでスキャンすることができる。本開示の技術は、広範な応用形態にわたって従来の技術より優れた著しい利点を提示することができる。

40

50

【0020】

本開示の技術は、高解像度の応用形態に焦点を合わせる工業用CTシステムに主に適用することができる。工業用CTシステム10は、幾つかの新規の要素を含むことができる。例えば、工業用CTシステム10は、広範な解像度および視野の組み合わせを得るために検出器を組み込む新規の検出器設計を含む、新規の機器設計を含むことができる。別の例では、工業用CTシステム10は、ラジオグラフを処理し、ラジオグラフから3D画像を更に再構成するための新規の数値アルゴリズムを用いることができる。

【0021】

FPDが、ガラス検出器アレイ上のアモルファスシリコン上に作製される、ヨウ化セシウムのようなシンチレーション材料層を備えることができる。シンチレーター層はX線を吸収し、可視光光子を放射することができ、その光子が次に固体検出器によって検出される。放射線検出器14のピクセルサイズは、数十マイクロメートルから数百マイクロメートルに及ぶことができる。例えば、放射線検出器14は、25マイクロメートルから300マイクロメートルに及ぶピクセルサイズを有するFPDを含むことができる。

10

【0022】

FPDは、ボリュームトリックCT構成の工業用CTシステムにおいて、現在最も一般的に使用される検出器である。FPDは一般に、大部分の応用形態において10マイクロメートル～100マイクロメートルの解像度と、10mm～400mmの視野とを提供する。この設計は、プリント回路基板、および機械加工部品または鋳造部品のような粗いフィーチャーを有する物体に非常に適している場合がある。0.5マイクロメートル～10マイクロメートルの解像度および1mm～50mmの視野を達成するために種々の倍率のレンズを使用するレンズ結合検出器システムを使用することにより、更に高い解像度を達成することができる。この設計は、集積回路コンポーネントまたは生物系内の細胞構造のような、細かいフィーチャーサイズを有する物体に非常に適している場合がある。逆のサイズ範囲では、300keVより高い高エネルギーX線を用いて、完全に組み立てられた機械システムのような大きな物体を突き抜けることができる。これらの応用形態では、放射線が散乱することから生じるコントラスト低下を抑えるために、多くの場合にLDA検出器が使用される。

20

【0023】

図2は、本開示の1または複数の技術による、例示的なレンズ結合高解像度X線検出器50を示すブロック図である。工業用CTシステム10の放射線検出器14が、レンズ結合高解像度X線検出器50を含むことができる。レンズ結合X線検出器50は、更なる光学レンズ52を用いて、放射された可視光54を図2の例において示されるような電荷結合素子(CCD)または相補型金属酸化膜半導体(CMOS)検出器のような検出器56に中継することができる。放射線検出器14のシンチレーター層は、X線発生器12または他のX線源によって放射されたX線を吸収するときに、可視光54を放射することができる。

30

【0024】

レンズ52は0.5x～100xの範囲の倍率を与えることができ、それにより、0.1マイクロメートル～20マイクロメートルの、レンズ結合X線検出器50の実効的なピクセルサイズを形成することができる。幾つかの例では、レンズ結合X線検出器50は、0.1マイクロメートル～10マイクロメートルのピクセルサイズを有する。図2の例では、ミラー58がレンズ52からの可視光54を検出器56に送る。さらに、図2の例では、レンズ52は、レンズ62のような1または複数の更なるレンズを含む回転タレット60内に取り付けられる。タレット60は、放射された可視光54が、レンズ52の代わりに、レンズ62を通り抜けるように、回転するか、または他の方法で再構成することができる。レンズ52およびレンズ62は、異なる焦点距離を有することができ、それゆえ、異なる解像度および/または視野を達成するために用いることができる。例えば、レンズ52は、広視野レンズとすることができます、レンズ62は高解像度レンズとすることができます。

40

50

【0025】

各検出器技術（すなわち、FPD技術、レンズ結合高解像度X線検出器技術およびLDA技術）の視野および解像度に関する制約を更に緩和するために、本開示の工業用CTシステム10は、これら3つのタイプの検出器技術のうちの2つ以上を組み合わせることができる。例えば、工業用CTシステム10は、完成したアセンブリによるシステムスケールNDE、およびサブマイクロメートルスケールにおける詳細な試験の両方の能力があるマルチスケール撮像システムを作製するためにFDPとレンズ結合検出器とを組み合わせたシステムを備えることができる。例えば、工業用CTシステム10は、0.1マイクロメートル～10マイクロメートルの範囲内のピクセルサイズを有するレンズ結合高解像度検出器と、25マイクロメートルから300マイクロメートルに及ぶピクセルサイズを有するフラットパネル検出器とを備えることができる。この例では、工業用CTシステム10は、少なくともレンズ結合高解像度X線検出器とフラットパネル検出器とを切り替える機械式機構を含むことができる。スパイラルCTの使用は、完全な岩石コアサンプルまたはミサイルのような細長い物体の場合にこの解像度および視野の組み合わせを用いて、延長されたスキャン長を更に与えることができる。10

【0026】

図3A～図3Fは、本開示の1または複数の技術による、スパイラルCTのための例示的なユーザー制御インターフェースを示す図である。詳細には、図3Aは、例示的なシステムパラメーター設定インターフェース100を示す図である。図3Bは、例示的な従来の（すなわち、非スパイラル）CTスキャン設定インターフェース150を示す図である。20 図3Cは、本開示の1または複数の技術による、別の例示的な従来の（すなわち、非スパイラル）CTスキャン設定インターフェースを示す図である。図3Dは、例示的なスパイラルCTスキャン設定インターフェース200を示す図である。図3Eは、本開示の1または複数の技術による、別の例示的なスパイラルCTスキャン設定インターフェースを示す図である。図3Fは、例示的な画像プレビューインターフェース250を示す図である。特に、画像プレビューインターフェース250は、エミュレーション環境を示す。20

【0027】

図3Aのシステムパラメーター設定インターフェース100は、工業用CTシステム10を制御するためのユーザーインターフェース(UI)要素を含む。工業用CTシステム10のUI要素によって、データ取得システム26が、スパイラルCTおよび非スパイラルCTの両方に共通のパラメーターのユーザー入力を受信することを可能にすることができます。例えば、システムパラメーター設定インターフェース100は、テーブル回転（すなわち、回転ステージ16）を制御するためのUI要素102と、X線源（例えば、X線発生器12）の位置を制御するためのUI要素104と、放射線検出器14の位置を制御するためのUI要素106と、テーブル倍率（例えば、X線発生器12および放射線検出器14に対する回転ステージ16の位置）を制御するためのUI要素108と、放射線検出器14の倍率レベルを制御するためのUI要素110とを含む。30 さらに、システムパラメーター設定インターフェース100は、CTスキャン中に使用されない動作軸、例えば、108および110が無効にされるべきであるか否かを制御するための1組のUI要素112を含む。システムパラメーター設定インターフェース100内のホームUI要素は、テーブル回転を決まった基準位置まで動かすことができる。システムパラメーター設定インターフェース100内のリセットUI要素は、現在のテーブル回転角を0に設定する。40

【0028】

図3Bの従来のCTスキャン設定インターフェース150は、非スパイラルCTスキャンを実行するように工業用CTシステム10を構成するためのUI要素を含むことができる。例えば、従来のCTスキャン設定インターフェース150は、CTスキャン中に取得されることになる投影数を入力するためのフィールド152を含むことができる。従来のCTスキャン設定インターフェース150は、所望のX線検出器取得速度とテーブル回転速度とを同期させて、モーションブラーを軽減するために、フレーム（投影）をスキップ50

するUI要素も含むことができる。「f r . 平均」UI要素を用いて、複数のフレームを合わせて平均して、1つの投影を生成し、雑音を少なくすることができる。さらに、従来のCTスキャン設定インターフェース150は、CTスキャンを開始するボタン154と、工業用CTシステム10のための較正プロセスを開始する別のボタン156とを含むことができる。さらに、従来のCTスキャン設定インターフェース150は、CTスキャンにおいて取得されたラジオグラフのピクセルのビット深度を制御するドロップダウンボックス158を含む。また、従来のCTスキャン設定インターフェース150は、CTスキャン中に回転ステージ16が回転する角度範囲を入力するためのテキストボックス160も含む。角度範囲は、0以上に設定することができる。場合によっては、角度範囲は360度より大きくすることができる。さらに、従来のCTスキャン設定インターフェース150は、データ取得システム28がCTスキャン中に取得されたラジオグラフをナンバリングし始める数字を入力するためのテキストボックス162を含む。ラジオグラフのナンバリングは、CTスキャン中に取得された個々のラジオグラフを後に参照するために用いることができる。また、従来のCTスキャン設定インターフェース150は、撮像システムの現在の位置においてスクリーンショットを取得する(スナップ写真を撮る)か、または或る期間にわたって撮像窓の一連のスクリーンショット(ビデオ)を記録するUI要素も提供することができる。

【0029】

上記のように、図3Cは、本開示の1または複数の技術による、別の例示的な従来の(すなわち、非スパイラル)CTスキャン設定インターフェース170を示す図である。図3C内のヘリカルスキャン設定インターフェースは、「Vortex」を付されたチェックボックス172を選択することによって表示することができる。ユーザーは、「スキャン高」入力フィールド内に直線移動範囲を入力することができる。スキャンタイプは、「スキャン設定」ドロップダウン要素176を用いて選択することができる。「スキャン設定」ドロップダウン要素176内のオプションは、高速、中間または精密を含むことができ、それはスキャン持続時間と品質とのトレードオフを反映する。他のスキャン依存パラメーターを自動的に選択するために、スキャン設定選択をスキャン高と組み合わせることができる。ユーザーがスキャン高および設定を入力するとき、データ取得システム28は、スキャニングパラメーターのユーザー入力の指示を受信することができる。

【0030】

データ取得システム28は、従来のCTスキャン設定インターフェース150内のヘリカルスキャンチェックボックス154および/またはアドバンストチェックボックス156、または従来のCTスキャン設定インターフェース170内のチェックボックス172および/またはアドバンストチェックボックス178を選択するユーザー入力の指示を受信するのに応答して、表示するために図3Dのスキャン設定インターフェース200を出力することができる。本開示の1または複数の技術によれば、ユーザーは、直線ステージのスキャン範囲(すなわち、直線スキャン範囲)および任意選択で、各スパイラル回転を通しての直線移動範囲およびアドバンストメニュー内の回転数のような、少数のスキャニングパラメーターを入力することができる。直線スキャン範囲パラメーターは、図3Dの例では「部品高」として示される。ユーザーがスキャニングパラメーターを入力するとき、データ取得システム28は、スキャニングパラメーターのユーザー入力の指示を受信することができる。

【0031】

コンピューティングシステム22が、これらのユーザー入力パラメーターと、X線源スポットサイズ、検出器ピクセルサイズ、倍率等の他の幾何学的パラメーターとに基づいて、主要データ取得パラメーター(全投影数、角度間隔、直線動作および回転動作の相対速度等)を自動的に最適化する画像取得制御プログラムを実行することができる。画像取得パラメーターは、本明細書において「データ取得パラメーター」と呼ばれる場合もある。この最適化は、1組の独自の数学アルゴリズムによって実行することができ、そのアルゴリズムは、例えば、アンダーサンプリングアーティファクトを防ぎ、取得のためのユーザ

10

20

30

40

50

一の時間限度に対応するのに必要な投影数を計算する。

【0032】

このようにして、コンピューティングデバイスは、1または複数のアルゴリズムを用いて、直線スキャン範囲に少なくとも部分的に基づいて、1または複数の更なるデータ取得パラメーターを決定することができ、1または複数の更なるデータ取得パラメーターに少なくとも部分的に基づいて、ラジオグラフを取得するようにX線撮像システムを構成することができる。一例では、データ取得システム26はユーザー入力パラメーターを受け入れることができ、ユーザー入力パラメーターは、直線スキャン範囲および持続時間／品質スキャン設定だからなる。この例では、データ取得システム26は、投影数、スキップするフレーム、ヘリカルピッチおよび回転数のような更なるデータ取得パラメーターを決定するアルゴリズムを使用する。 10

【0033】

スパイラルCT入力がより複雑になり、幾つかの主要入力パラメーターが従来のCTスキャン設定より直観的に理解しにくくなると、広い解像度および視野範囲に及ぶマルチスケールX線撮像システムの場合に特に、そのような最適化システムを有し、ユーザーが苦労しないようにすることは、本技術を実用的にするのを助けることができる。

【0034】

例えば、図3Dの例では、データ取得システム28は、フィールド202において部品高のユーザー入力の指示を受信することができる。部品高は、被試験部品（例えば、サンプル）の高さ（または長さ）を指示することができる。それに応答して、データ取得システム28は、部品高に少なくとも部分的に基づいて、スパイラルCTスキャン設定インターフェース200内に示される他の値、例えば、ヘリカルピッチ、ヘリカルセット数、セットあたりの回転数、回転あたりの投影数、投影あたりの高差、投影あたりの角度差、ヘリカルセットあたりの適用されるフィルタリングされた重みを示すセットスケール、CTスキャンにおける全高差、CTスキャンにおいて回転する全度数、CTスキャン中のサンプルの全回転数、およびCTスキャン中に取得される全投影数（例えば、全ラジオグラフ数）を計算することができる。データ取得システム28は、ヘリカル設定高さと、CTスキャン中の回転数とのユーザー入力の指示を受信することができ、データ取得システム28は、そのパラメーター計算を更新することができる。ヘリカルセットは、その投影されたラジオグラフが垂直方向に、例えば、50%の重なりを有するらせんにおける、連続的な回転の数を含む。ヘリカル設定高さは、ヘリカルセットの垂直方向の長さである。ユーザーがスキャニングパラメーターを入力するとき、データ取得システム28は、スキャニングパラメーターのユーザー入力の指示を受信することができる。データ取得システム28は、図3Dに示されるスキャン概要パラメーターを計算するために、スパイラルCTスキャン設定インターフェース200において入力される値に加えて、従来のCTスキャン設定インターフェース150において入力される値も使用することができる。このようにして、ユーザーはこれらのパラメーターを手作業で計算または入力する必要はない。むしろ、スキャン高および投影あたりの高さから全投影が計算されるように、スキャン概要パラメーターが計算される。 30

【0035】

上記のように、図3Eは、本開示の1または複数の技術による、別の例示的なスパイラルCTスキャン設定インターフェース230を示す図である。スパイラルCTスキャン設定インターフェース230は、図3DのスパイラルCTスキャン設定インターフェース200と幾つかの点において類似であるが、幾つかの異なる特徴を含む。 40

【0036】

データ取得システム28は、従来のCTスキャン設定インターフェース150内のヘリカルスキャンアドバンストチェックボックス166、または従来のCTスキャン設定インターフェース170内のチェックボックス172および/またはアドバンストチェックボックス178を選択するユーザー入力の指示を受信するのに応答して、表示するために図3Eのスキャン設定インターフェース200を出力することができる。本開示の1または 50

複数の技術によれば、ユーザーは、アドバンストダイアログにおいて、直線ステージのスキャン範囲（すなわち、直線スキャン範囲）、ヘリカル設定高さ 236 および回転数 238 のような、少数のスキャニングパラメーターを入力することができる。直線スキャン範囲パラメーターは、図 3 E の例では「スキャン高」要素 232 として示される。

【0037】

図 3 E の例では、データ取得システム 28 は、スキャン高、ヘリカルピッチ、ヘリカル設定高さおよび / または回転数に少なくとも部分的に基づいて、ヘリカルセット数、セットあたりの回転数、回転あたりの投影数、投影あたりの高差、投影あたりの角度差、CT スキャンにおける全高差、CT スキャンにおいて回転する全度数、CT スキャン中のサンプルの全回転数、および CT スキャン中に取得される全投影数（例えば、全ラジオグラフ数）を計算することができる。

【0038】

図 4 A ~ 図 4 E は、本開示の 1 または複数の技術による、スパイラル CT 技術および従来の CT 技術を用いてスキャンされるテスト構造の例示的な画像を示す。FPD 検出器を用いて、上記のようなアルゴリズムを用いて最適化されたパラメーターを使用してデータが取得された。従来の CT 画像は、構造全体の小さな領域のみを示す。完全な構造を得るために、幾つかのそのようなスキャンが実行され、後処理において数値的に繋ぎ合わせられる場合がある。対照的に、スパイラル CT 画像は一度のサイクルにおいて取得された。また、スパイラル CT データは、従来の CT より良好なコントラストおよび解像度も示し、アーティファクトも少ない。

10

【0039】

図 4 A は、スパイラル CT を用いて得られた例示的な 3 次元構造のボリュームレンダリングを示す図である。図 4 B は、図 4 A の 3 次元構造の第 1 の例示的な断面画像を示す図である。図 4 C は、図 4 A の 3 次元構造の第 2 の例示的な断面画像を示す図である。図 4 D は、図 4 A の 3 次元構造の第 3 の例示的な断面画像を示す図である。言い換えると、スパイラル CT を用いて得られた 3D 構造は、図 4 A においてボリュームレンダリングとして示されており、その断面画像が 3 つの軸に沿って図 4 B、図 4 C および図 4 D において示される。

20

【0040】

図 4 E は、図 4 A の 3 次元構造の例示的な断面画像を示す図である。言い換えると、比較のために、従来のボリュームトリック CT からの結果が図 4 E に示される。従来の CT 画像におけるアーティファクトは、画像が高い円錐角で X 線に露光された、図 4 E に示される再構成エリアの上部および底部において最も顕著である。そのようなアーティファクトは特に、回転軸に対して垂直に位置合わせされた主に平坦な構造を含む構造の場合に共通している場合がある。これらの露光角は従来の CT スキャン中に固定されるが、スパイラルスキャンシーケンスでは、直線並進ステージ 20 が並進するにつれて変化することができる。結果として、これらの高角アーティファクトの影響は、投影ラジオグラフをフィルタリングすることによって低減または解消することができる。従って、データ取得システム 26 (図 1) の 1 または複数のプロセッサは、X 線ビームの特定の円錐角（例えば、高い円錐角）に関連付けられるアーティファクトを低減するために、取得されたラジオグラフを用いてデジタルフィルタリング計算を実行するように構成することができる。サンプルタイプに応じて、幾つかの可能なフィルターを使用することができる。

30

【0041】

例えば、データ取得システム 26 の 1 または複数のプロセッサは、取得されたラジオグラフを用いてガウス型デジタルフィルターを含むデジタルフィルタリング計算を実行するように構成することができる。言い換えると、データ取得システム 26 は、ガウス型デジタルフィルターを用いて、各ラジオグラフをフィルタリングすることができる。この例では、図 5 の例に示されるように、ガウス型関数、

40

【数1】

$$f_i = \sum_{n=1}^N g_n \cdot k_n^2 \cdot p_{nus}$$

のような加重逆投影フィルタリング関数を用いて、滑らかに変化するように、低角のスライスに大きな重みを与えることができる。ただし、図5の例に示すように、 $g = e \times p [- (x^2 / 2^2)]$ 、

【数2】

10

$$k = \frac{d}{d^2}$$

である。従って、図5は、本開示の1または複数の技術による、加重逆投影機能構成の概念図である。

【0042】

別の例では、データ取得システム26は、ステップ関数デジタルフィルターを用いて、取得された各ラジオグラフをフィルタリングすることができる。ステップ関数は、特定の角度において急峻なカットオフを形成することができる。従って、データ取得システム26の1または複数のプロセッサは、ステップ関数デジタルフィルターを含むデジタルフィルタリング計算を実行するように構成することができる。

20

【0043】

図6は、本開示の1または複数の技術による、工業用CTシステムの例示的な動作を示す流れ図である。図6の例示的な動作は、図1の例示的なシステムを参照しながら説明される。然しながら、図6に示される技術は、図1のシステムにおいて使用することには必ずしも限定されず、他のシステムにおいて用いることもできる。

【0044】

図6の例では、データ取得システム（例えば、データ取得システム26）がユーザー入力パラメーターを受信することができる（300）。言い換えると、データ取得システムは、ユーザー入力パラメーターのユーザー入力の指示を受信することができる。幾つかの例では、データ取得システムは、直線スキャン範囲のユーザー入力を受信することができる。直線スキャン範囲は、直線並進ステージ（例えば、直線並進ステージ20）の直線動作範囲とすることができます。さらに、この例では、データ取得システムは、直線スキャン範囲に少なくとも部分的に基づいて、1または複数の更なるデータ取得パラメーターを決定する1または複数のアルゴリズムを使用することができる。

30

【0045】

データ取得システムは、ユーザー入力パラメーターに少なくとも部分的に基づいて、ラジオグラフを取得するようにX線撮像システム（例えば、工業用CTシステム10）を構成することができる（302）。本開示の他の場所で説明されたように、X線撮像システムは、X線発生器（例えば、X線発生器12）と、1または複数の放射線検出器（例えば、放射線検出器14）と、X線発生器によって放射されるX線ビームの軸に対して垂直に配置される回転軸を有する回転ステージ（例えば、回転ステージ16）と、回転ステージの回転軸に沿って配置される軸を有する直線並進ステージとを備えることができる。さらに、X線撮像システムは、回転ステージの回転動作と直線並進ステージの直線動作とを同期させる動作制御システム（例えば、動作制御システム24）も備えることができる。データ取得システムは、ラジオグラフに少なくとも部分的に基づいて、3次元画像を生成することができる（304）。

40

【0046】

50

以下の段落は、本開示の追加の例示の技術を提供する。

【0047】

例 1。X 線撮像システムであって、X 線発生器と、1 または複数の放射線検出器と、X 線発生器によって放射される X 線ビームの軸に対して実質的に垂直に配置される回転軸を有する回転ステージと、回転ステージの回転軸に沿って配置される動作軸を有する直線並進ステージと、回転ステージの回転動作と直線並進ステージの直線動作とを同期させる動作制御システムと、データ取得システムであって、ユーザー入力パラメーターを受信し、ユーザー入力パラメーターに少なくとも部分的に基づいて、ラジオグラフを取得するよう 10 に X 線撮像システムを構成し、ラジオグラフに少なくとも部分的に基づいて、3 次元画像を生成するように構成される 1 または複数のプロセッサを備える、データ取得システムとを備える、X 線撮像システム。

【0048】

例 2。1 または複数の放射線検出器はフラットパネル放射線検出器を含む、例 1 に記載の X 線撮像システム。

【0049】

例 3。データ取得システムの 1 または複数のプロセッサは、ラジオグラフを用いてデジタルフィルタリング計算を実行するように更に構成される、例 1 または 2 に記載の X 線撮像システム。

【0050】

例 4。デジタルフィルター計算は、ガウス型デジタルフィルターを含む、例 3 に記載の X 線撮像システム。 20

【0051】

例 5。デジタルフィルター計算は、ステップ関数デジタルフィルターを含む、例 3 または 4 に記載の X 線撮像システム。

【0052】

例 6。X 線発生器は、20 keV ~ 600 keV のエネルギー範囲を有する X 線を与える、例 1 ~ 5 のいずれかに記載の X 線撮像システム。

【0053】

例 7。1 または複数の放射線検出器はレンズ結合高解像度 X 線検出器を含む、例 1 ~ 6 のいずれかに記載の X 線撮像システム。 30

【0054】

例 8。レンズ結合高解像度 X 線検出器は、0.1 マイクロメートル ~ 10 マイクロメートルの範囲内のピクセルサイズを有する、例 7 に記載の X 線撮像システム。

【0055】

例 9。1 または複数の放射線検出器は、25 マイクロメートルから 300 マイクロメートルに及ぶピクセルサイズを有するフラットパネル検出器を含む、例 8 に記載の X 線撮像システム。

【0056】

例 10。1 または複数の放射線検出器はフラットパネル検出器を含み、X 線撮像システムは、少なくともレンズ結合高解像度 X 線検出器とフラットパネル検出器とを切り替える機械式機構を更に備える、例 7 または 8 に記載の X 線撮像システム。 40

【0057】

例 11。1 または複数の放射線検出器は、線形ダイオードアレイ型放射線検出器を含む、例 1 ~ 10 のいずれかに記載の X 線撮像システム。

【0058】

例 12。ユーザー入力パラメーターは直線スキャン範囲からなり、データ取得システムの 1 または複数のプロセッサは、直線スキャン範囲に少なくとも部分的に基づいて、1 または複数の更なるデータ取得パラメーターを決定する 1 または複数のアルゴリズムを使用し、1 または複数の更なるデータ取得パラメーターに少なくとも部分的に基づいて、ラジオグラフを取得するように X 線撮像システムを構成するように構成される、例 1 ~ 11 の 50

いずれかに記載の X 線撮像システム。

【 0 0 5 9 】

例 1 3。更なるデータ取得パラメーターを決定する 1 または複数のアルゴリズムは、1 または複数の埋め込みアルゴリズムを含む、例 1 2 に記載の方法。

【 0 0 6 0 】

例 1 4。データ取得システムはコンピューター制御される、例 1 ~ 1 3 のいずれかに記載の X 線撮像システム。

【 0 0 6 1 】

例 1 5。データ取得システムの 1 または複数のプロセッサは、ラジオグラフをデジタル形式で記録するように構成される、例 1 ~ 1 4 のいずれかに記載の X 線撮像システム。 10

【 0 0 6 2 】

例 1 6。例 1 ~ 1 5 のいずれかに従って構成されている、X 線撮像システム。

【 0 0 6 3 】

例 1 7。本明細書において開示される技術のいずれかに従う X 線撮像システム。

【 0 0 6 4 】

例 1 8。X 線撮像システムであって、X 線発生器と、フラットパネル放射線検出器、レンズ結合高解像度 X 線検出器および線形ダイオードアレイを含む 1 または複数の放射線検出器と、X 線ビームの軸に対して垂直に配置される軸を有する回転ステージと、回転ステージの軸に沿って配置される軸を有する直線並進ステージと、回転ステージおよび直線並進ステージの動作を同期させるように構成される動作制御システムと、ユーザー入力パラメーターを受け取り、ラジオグラフを取得し、ラジオグラフをデジタル形式で記録し、ラジオグラフを用いてデジタルフィルタリング計算を実行し、ラジオグラフから 3 次元画像を再構成するコンピューターコードを実行するコンピューター制御データ取得システムとを備える、X 線撮像システム。 20

【 0 0 6 5 】

例 1 9。X 線発生器は、2 0 k e V ~ 6 0 0 k e V のエネルギー範囲を有する X 線を与える、例 1 8 に記載の X 線撮像システム。

【 0 0 6 6 】

例 2 0。レンズ結合高解像度 X 線検出器は、0 . 1 マイクロメートル ~ 1 0 マイクロメートルの範囲内のピクセルサイズを有する、例 1 8 または 1 9 に記載の X 線撮像システム 30 。 。

【 0 0 6 7 】

例 2 1。線形ダイオードアレイ型放射線検出器を含む、例 1 8 ~ 2 0 のいずれかに記載の X 線撮像システム。

【 0 0 6 8 】

例 2 2。0 . 1 マイクロメートル ~ 1 0 マイクロメートルの範囲内のピクセルサイズを有するレンズ結合高解像度検出器と、2 5 マイクロメートルから 3 0 0 マイクロメートルに及ぶピクセルサイズを有するフラットパネル検出器と、レンズ結合高解像度検出器とフラットパネル検出器とを切り替える機械式機構とを備える、例 1 8 ~ 2 1 のいずれかに記載の X 線撮像システム。 40

【 0 0 6 9 】

例 2 3。ユーザー入力パラメーターは直線スキャン範囲だけからなり、更なるデータ取得パラメーターを決定する埋め込みアルゴリズムを使用する、例 1 8 ~ 2 2 のいずれかに記載の X 線撮像システム。

【 0 0 7 0 】

例 2 4。ガウス型デジタルフィルターを用いて、各ラジオグラフを処理する、例 1 8 ~ 2 3 のいずれかに記載の X 線撮像システム。

【 0 0 7 1 】

例 2 5。ステップ関数デジタルフィルターを用いて、各ラジオグラフを処理する、例 1 8 ~ 2 4 のいずれかに記載の X 線撮像システム。 50

【0072】

例26。例18～25のいずれかに従って構成されている、X線撮像システム。

【0073】

本開示の技術は、多種多様のデバイスまたは装置において実施することができる。開示された技術を実行するように構成されたデバイスの機能的態様を強調する様々なコンポーネント、モジュール、またはユニットが本開示に説明されているが、必ずしも異なるハードウェアユニットによる実現を必要とするものではない。逆に、上記で説明したように、様々なユニットは、適したソフトウェアおよび／またはファームウェアとともに1つのハードウェアユニット内に組み合わせることもできるし、適したソフトウェアおよび／またはファームウェアとともに、上記で説明したような1または複数のプロセッサを含む、相互動作するハードウェアユニットの集合体によって提供することもできる。

【0074】

1または複数の例では、説明した特定の機能を、ハードウェア、ソフトウェア、ファームウェア、またはそれらの任意の組み合わせで実施することができる。これらの機能は、ソフトウェアで実施される場合、1または複数の命令またはコードとして、コンピューター可読媒体上に記憶することもできるし、コンピューター可読媒体を介して送信することもでき、ハードウェアベースの処理ユニットによって実行することができる。コンピューター可読媒体は、データ記憶媒体等の有形の媒体に対応するコンピューター可読記憶媒体、または、例えば、通信プロトコルに従った或る場所から別の場所へのコンピュータープログラムの転送を容易にする任意の媒体を含む通信媒体を含むことができる。このように、コンピューター可読媒体は、一般に、(1)非一時的である有形のコンピューター可読記憶媒体または(2)信号若しくは搬送波等の通信媒体に対応することができる。データ記憶媒体は、1つ若しくは複数のコンピューターまたは1つ若しくは複数のプロセッサが、本開示において説明した技術を実施するためにアクセスして、命令、コード、および／またはデータ構造体を取り出すことができる任意の利用可能な媒体とすることができる。コンピュータープログラム製品は、コンピューター可読媒体を含むことができる。

【0075】

限定ではなく例として、そのようなコンピューター可読記憶媒体は、RAM、ROM、EEPROM、CD-ROM若しくは他の光ディスク記憶装置、磁気ディスク記憶装置若しくは他の磁気記憶デバイス、フラッシュメモリ、または所望のプログラムコードを命令若しくはデータ構造体の形態で記憶するのに用いることとともにコンピューターがアクセスすることができる他の任意の媒体を含むことができる。また、任意の接続が、適宜、コンピューター可読媒体と呼ばれる。例えば、命令が、同軸ケーブル、光ファイバーケーブル、ツイストペア、デジタル加入者線(DSL)、または赤外線、無線、およびマイクロ波等の無線技術を用いて、ウェブサイト、サーバー、または他のリモートソースから送信される場合、この同軸ケーブル、光ファイバーケーブル、ツイストペア、DSL、または赤外線、無線、およびマイクロ波等の無線技術は、媒体の定義に含まれる。ただし、コンピューター可読記憶媒体およびデータ記憶媒体は、接続も、搬送波も、信号も、他の一時的な媒体も含まず、代わりに、非一時的な有形の記憶媒体を対象としていると理解されるべきである。ディスクは、本明細書において用いられるとき、コンパクトディスク(CD)、レザーディスク、光ディスク、デジタル多用途ディスク(DVD)、フロッピーディスク、およびブルーレイディスクを含む。ここで、ディスクは、通常、磁気的にデータを再現する一方、ディスクは、レーザーを用いて光学的にデータを再現する。上記を組み合わせたものも、コンピューター可読媒体の範囲内に含まれるべきである。

【0076】

命令は、1または複数のデジタル信号プロセッサ(DSP)、汎用マイクロプロセッサ、特定用途向け集積回路(ASIC)、フィールドプログラマブルロジックアレイ(FPGA)、または他の同等の集積論理回路部若しくはディスクリート論理回路部等の1または複数のプロセッサが実行することができる。従って、「プロセッサ」という用語は、本明細書において用いられるとき、上述の構造体のうちの任意のものまたは本明細書において

て説明した技術の実施に適した他の任意の構造体を指すことができる。加えて、幾つかの態様では、本明細書において説明した機能は、専用のハードウェアモジュールおよび／またはソフトウェアモジュール内に設けることができる。また、上記技術の特定の部分は、1または複数の回路または論理素子において実施することができる。

【0077】

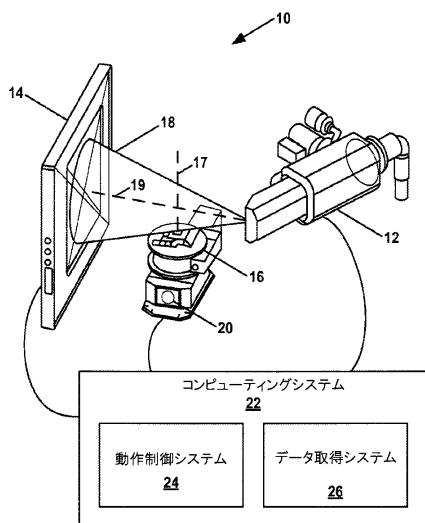
様々な例が説明されてきた。これらの例および他の例は、添付の特許請求の範囲の範囲内にある。

【符号の説明】

【0078】

1 0	システム	10
1 2	X線発生器	
1 4	放射線検出器	
1 6	回転ステージ	
1 7	回転軸	
1 8	X線ビーム	
1 9	X線ビーム軸	
2 0	直線並進ステージ	
2 0	垂直ステージ	
2 2	コンピューティングシステム	
2 4	動作制御システム	20
2 6	データ取得システム	
2 8	データ取得システム	
5 0	X線検出器	
5 2	レンズ	
5 4	可視光	
5 6	検出器	
5 8	ミラー	
6 0	回転タレット	
6 0	タレット	
6 2	レンズ	30
1 0 0	システムパラメーター設定インターフェース	
1 5 0	スキャン設定インターフェース	
1 5 2	フィールド	
1 5 4	ヘリカルスキャンチェックボックス	
1 5 4	ボタン	
1 5 6	ボタン	
1 5 6	アドバンストチェックボックス	
1 5 8	ドロップダウンボックス	
1 6 0	テキストボックス	
1 6 2	テキストボックス	40
1 6 6	ヘリカルスキャンアドバンストチェックボックス	
1 7 0	スキャン設定インターフェース	
1 7 2	チェックボックス	
1 7 6	ドロップダウン要素	
1 7 8	アドバンストチェックボックス	
2 0 0	スキャン設定インターフェース	
2 0 2	フィールド	
2 3 0	スキャン設定インターフェース	
2 3 6	ヘリカル設定高さ	
2 5 0	画像プレビューインターフェース	50

【図1】



【図2】

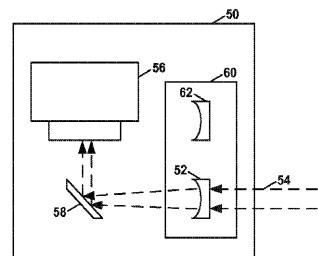


FIG. 2

FIG. 1

【図3A】

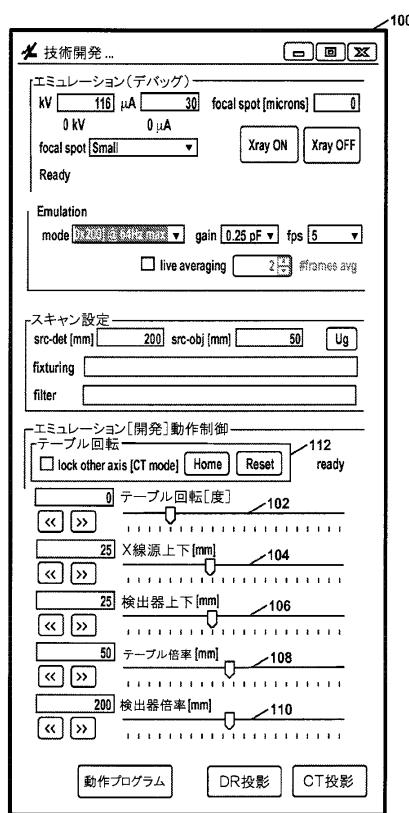


FIG. 3A

【図3B】

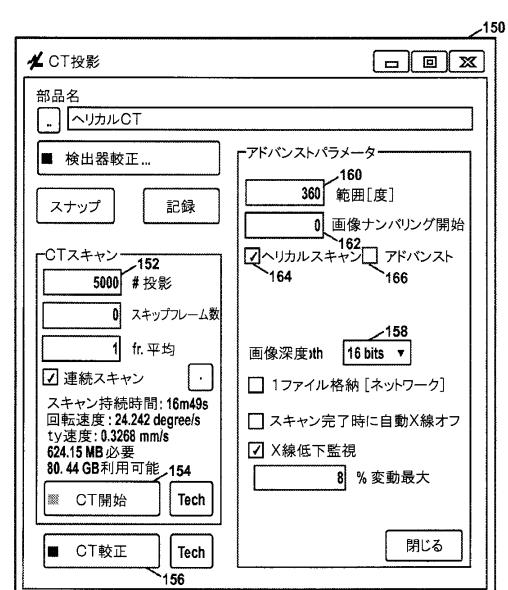


FIG. 3B

【図3C】

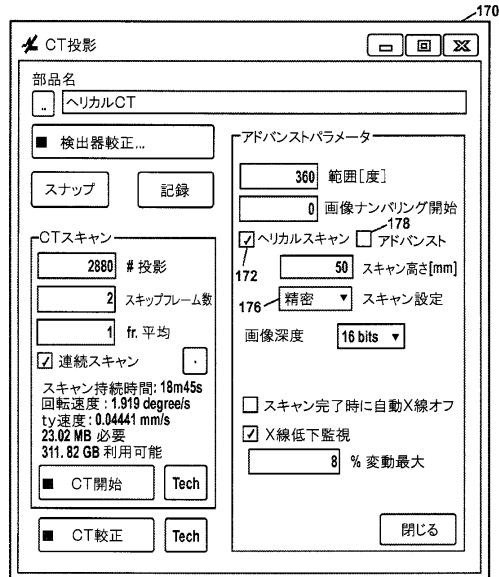


FIG. 3C

【図3D】

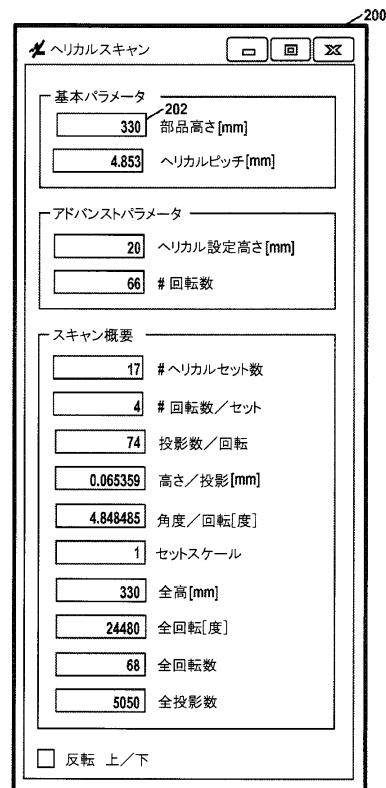


FIG. 3D

【図3E】

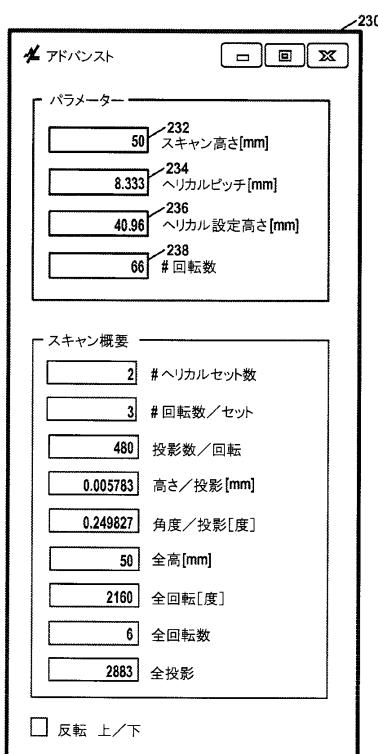


FIG. 3E

【図3F】

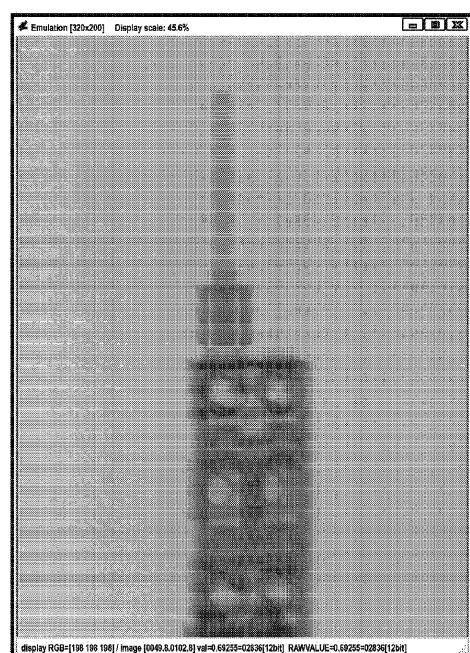


FIG. 3F

【図4A】

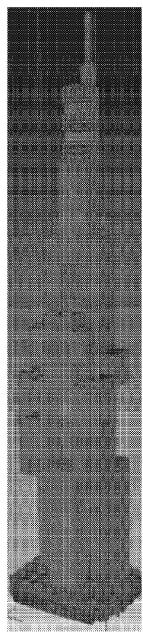


FIG. 4A

【図4B】

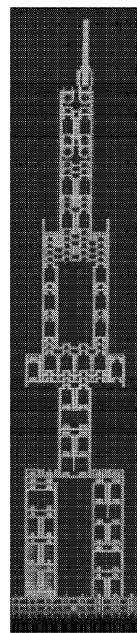


FIG. 4B

【図4C】

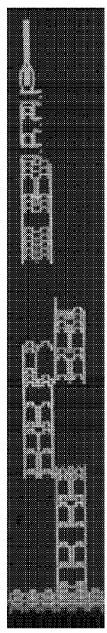


FIG. 4C

【図4D】

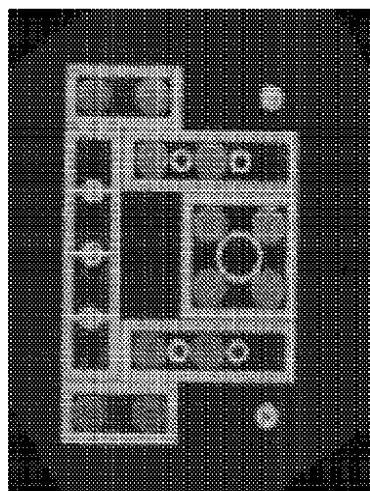


FIG. 4D

【図4E】

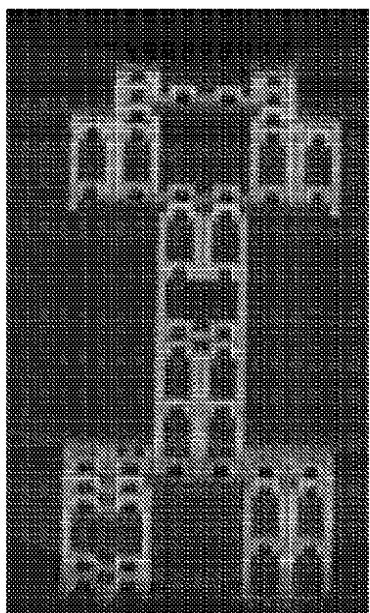


FIG. 4E

【図5】

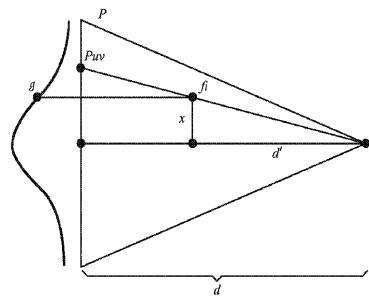


FIG. 5

【図6】

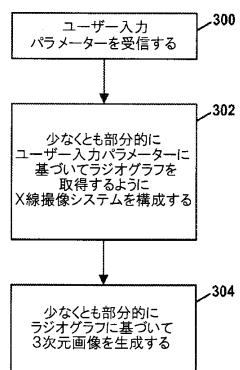


FIG. 6

フロントページの続き

(74)代理人 100147555

弁理士 伊藤 公一

(74)代理人 100171251

弁理士 篠田 拓也

(72)発明者 ジョセフ シュレヒト

アメリカ合衆国, イリノイ 60025, グレンビュー, ハーレム アベニュー 155

(72)発明者 エリク フェルレー

アメリカ合衆国, イリノイ 60025, グレンビュー, ハーレム アベニュー 155

(72)発明者 ジュリアン ノエル

アメリカ合衆国, イリノイ 60025, グレンビュー, ハーレム アベニュー 155

審査官 藤田 都志行

(56)参考文献 特開2007-114164 (JP, A)

特開2005-279282 (JP, A)

特開2012-090978 (JP, A)

特開2004-065983 (JP, A)

特開2009-092658 (JP, A)

特表2005-503204 (JP, A)

米国特許出願公開第2009/0207964 (US, A1)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

G01N 23/046

A61B 6/03