

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第6250658号
(P6250658)

(45) 発行日 平成29年12月20日(2017.12.20)

(24) 登録日 平成29年12月1日(2017.12.1)

(51) Int.Cl.

G 0 1 N 23/20 (2006.01)
A 6 1 B 6/03 (2006.01)

F 1

G 0 1 N 23/20 3 7 O
A 6 1 B 6/03 3 1 O Z

請求項の数 15 (全 11 頁)

(21) 出願番号 特願2015-519443 (P2015-519443)
 (86) (22) 出願日 平成25年6月26日 (2013.6.26)
 (65) 公表番号 特表2015-522157 (P2015-522157A)
 (43) 公表日 平成27年8月3日 (2015.8.3)
 (86) 國際出願番号 PCT/IB2013/055244
 (87) 國際公開番号 WO2014/002026
 (87) 國際公開日 平成26年1月3日 (2014.1.3)
 審査請求日 平成28年6月23日 (2016.6.23)
 (31) 優先権主張番号 61/664,943
 (32) 優先日 平成24年6月27日 (2012.6.27)
 (33) 優先権主張国 米国(US)

(73) 特許権者 590000248
 コーニンクレッカ フィリップス エヌ
 ヴェ
 KONINKLIJKE PHILIPS
 N. V.
 オランダ国 5656 アーネー アイン
 ドーフェン ハイテック キャンパス 5
 High Tech Campus 5,
 NL-5656 AE Eindhoven
 (74) 代理人 110001690
 特許業務法人M&Sパートナーズ

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】暗視野イメージング

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

X線干渉計を含むイメージング装置を用いて、対象物の暗視野画像投影を取得するステップと、

各取得した投影のための対象物に対する所定の周波数であって、各投影で互いに異なる所定の周波数を有する圧力波を付与するステップと、

前記取得した投影を処理し、前記対象物の3D画像を生成するステップと、
を有する、暗視野イメージング方法。

【請求項 2】

前記圧力波は、前記対象物の物質の変形をもたらす、請求項1に記載の方法。

10

【請求項 3】

前記イメージング装置のソース/検出器ペアと、スキャンする前記対象物を支持する前記イメージング装置の被験者支持体との間に相対的な動き無しで前記投影が取得される、請求項1又は2に記載の方法。

【請求項 4】

投影の取得の間、圧力が前記対象物に付与される、請求項1乃至3のいずれか一項に記載の方法。

【請求項 5】

前記対象物に全く圧力波を付与すること無しに、基準暗視野画像投影を取得するステップを更に有する、請求項1乃至4のいずれか一項に記載の方法。

20

【請求項 6】

前記所定の周波数は、1 H z から 1 0 0 0 H z の範囲内の周波数である、請求項 1 乃至 5 のいずれか一項に記載の方法。

【請求項 7】

前記取得された投影は、フーリエ変換を表す、請求項 1 乃至 6 のいずれか一項に記載の方法。

【請求項 8】

逆フーリエ変換、及び前記対象物を横断する各線に沿った分布の再構成によって、前記対象物の前記 3 D 画像を生成するステップを更に有する、請求項 7 に記載の方法。

【請求項 9】

前記取得された投影の離散形成の反復再構成を行い、これにより一つの組み合わされた再構成において弾性視野と暗視野とを解決するステップを更に有する、請求項 1 乃至 6 のいずれか一項に記載の方法。

【請求項 10】

前記イメージング装置の干渉計の吸収格子をステッピングし、投影を位相符号化するステップを更に有する、前記請求項 1 乃至 9 のいずれか一項に記載の方法。

【請求項 11】

ソース / 検出器ペア及び被験者支持体を有する暗視野イメージングのスキナと、所定の周波数を有する圧力波を生成し、送信する圧力波発生装置と、

対象物に付与される互いに異なる周波数を持つ互いに異なる圧力波を用いて、前記対象物の少なくとも 2 つの暗視野投影を取得するために前記スキナ及び前記圧力波発生装置を制御するコンソールと、
を有する、イメージングシステム。

【請求項 12】

前記圧力波は、前記対象物の物質の変形をもたらす、請求項 1 1 に記載のイメージングシステム。

【請求項 13】

ソース格子と、
位相格子と、
吸収格子と、

前記暗視野投影を位相符号化するために前記位相格子又は前記吸収格子の少なくとも一方を他方に対してステッピングする格子ステッパと、
を更に有する、請求項 1 1 又は 1 2 に記載のイメージングシステム。

【請求項 14】

前記ソース / 検出器ペアと前記被験者支持体との間に相対的な動き無しに前記暗視野投影が取得される、請求項 1 1 乃至 1 3 のいずれか一項に記載のイメージングシステム。

【請求項 15】

取得された暗視野信号を処理し、前記対象物の 3 D 画像を生成する暗視野信号プロセッサを更に有する、請求項 1 1 乃至 1 4 のいずれか一項に記載のイメージングシステム。

【発明の詳細な説明】**【技術分野】****【0 0 0 1】**

下記の発明は、概して暗視野イメージングに関し、コンピュータ断層撮影法 (C T) への特定のアプリケーションで説明される。

【背景技術】**【0 0 0 2】**

従来の C T イメージングでは、コントラストは、スキャンされた対象物の構成要素の吸収断面積における違いを通して得られる。これは、骨などの高吸収構造が、マトリクス状の比較的低吸収材、例えば人間の身体の周辺組織に埋め込まれている場合に良い結果を生む。しかしながら、類似の吸収断面積を持つ異なる形状の組織が検査される場合（例えば

10

20

30

40

50

マンモグラフィ又は血管造影法)、X線吸収コントラストは、比較的不充分である。結果として、現在の病院中心のX線システムで得られる吸収X線写真において、病理性の組織を非病理性の組織から識別することは、特定の組織組成にとって困難なままである。

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0003】

暗視野(又は格子ベース微分位相像)イメージングは、上記のコントラスト制限を克服する。一般に、このようなイメージングは、スキャンされた対象物について付加的な情報を提供する位相コントラストのX線画像の取得を可能にするX線格子を利用する。暗視野イメージングを用いると、スキャンされた対象物により回折されたX線の散乱成分に基づいた画像が生成される。スキャンされた対象物におけるごくわずかな密度差は、その結果、非常に高い解像度で示され得る。暗視野イメージングのために構成されたイメージングシステムの例が、「位相コントラストイメージング」という名称で2012年6月8日に出願され、コーニンクレッカ フィリップス エレクトロニクス エヌ・ヴェに譲渡された出願シリアル番号13/514,682に述べられており、この出願全体は、本明細書に参照により包含される。10

【0004】

13/514,682に説明された装置は、図1に示されており、検査領域106を挟んで互いに反対側に位置するX線ソース102及び検出アレイ104を含む。ソース格子108は、X線ソース102に隣接し、吸収(又は分析)格子110は、検出アレイ104に隣接し、位相格子112は、対象物114と吸収格子110との間にある。ソース格子108は、位相格子112から距離(“l”)116で隔てられている。位相格子112は、吸収格子110から距離(“d”)118で隔てられており、これはタルボ距離に対応する20

$$(d = p_1^2 / 8\lambda,$$

は入射放射線の波長である)。

【0005】

ソース格子108、位相格子112、及び吸収格子110は、それぞれ格子ライン周期 p_0 、 p_1 、及び p_2 を有し、30

$$p_2 = \frac{1}{d} p_0$$

及び

$$p_2 = \frac{1}{2} p_1 \cdot \frac{(d+l)}{l}$$

である。ソース格子108は、単独ではコヒーレントであり、相互にインコヒーレントなソースのアレイを作り出す。ビーム路内の対象物114は、X線の各コヒーレントなサブセットに対してわずかな屈折の原因となり、これは、対象物の局部位相勾配に比例する。この小さな角度偏差は、位相格子112と吸収格子110との組み合わせを通して、局部的に透過された強度の変化をもたらす。40

【0006】

位相格子112は、ビームスプリッタとして作用し、入ってくるX線を基本的に2つの1次回折に分割する。回折されたビームは、干渉し、タルボ距離で、位相格子と $1/(1+d)$ で規定される幾何拡大係数との積の半分に等しい周期性を持つ線形の周期的なフリンジパターンを形成する。ビーム中の対象物114上の屈折によって引き起こされる入射波面の摂動は、フリンジの局部的変位の原因となる。吸収格子110は、検出アレイ104に対して透過マスクとして作用し、局部フリンジ位置を信号強度変動に変換する。よって、検出信号プロファイルは、対象物114によって引き起こされる位相シフトについての定量的な情報を含む。50

【0007】

位相情報を符号化し、抽出するために、位相ステッピング・アプローチが利用されている。このアプローチを用いて、吸収格子110は、位相格子112に対して、格子ライン周期にわたる所定のステップサイズの動きを介して、格子のラインに垂直である横方向に並進される。各格子ステップにおいて測定が行われ、複数（例えば8）の格子ステップ及び測定が投影に対して行われる。3D取得のために、回転の異なる角度視野から取得された所定の数（例えば1000）の投影で、対象物114は、X線ソース102、格子108、110、及び112、並びに検出アレイ104に対して回転し、又は、X線ソース102、格子108、110、及び112、並びに検出アレイ104は、対象物114の周りを（少なくとも180度+扇角度にわたって）回転する。

10

【0008】

暗視野画像の各画素は、小角度散乱分布の第2モーメントの線積分を表す。しかしながら、ライン積分への寄与は、逆信号拡大のために、X線ソース102と検出アレイ104との間の検査領域106における対象物114の相対位置に依存する。これは図2及び図3に示されている。図2では、対象物114は、図3における対象物114の位置と比較して、X線ソース102により近い。結果として、図2の対象物位置に対する検出アレイプロファイル200の最大高202は、図3の対象物位置に対する検出アレイプロファイル300の最大高302と比較して小さくなる。一般に、逆信号拡大は、X線ソース102と検出アレイ104との間の対象物114の位置に対して、検出した信号の高さを反比例にスケーリングする。

20

【0009】

X線ソース102から対象物114を通って検出アレイ104への経路に沿ったX線の減衰は、式1に示されるように発生し、

【数1】

式1：

$$I = I_0 e^{-\int_0^1 l f(\vec{s} + l \vec{r}) dl}$$

30

I は、検出画素における検出信号（暗視野投影値）であり、 I_0 は非減衰検出信号であり、 l はX線ソース102（ $l=0$ ）から対象物114を通って検出アレイ104（ $l=1$ ）の検出画素へのX線に沿った位置であり、 $f(\cdot)$ は対象物特性の分布であり、

\vec{s}

は源の位置であり、

\vec{r}

はX線ソース102から位相格子112へのX線に沿った単位ベクトルである。式の両辺の対数をとることは、式2に示されるように、経路に沿って減衰係数の線積分を示す一次方程式を与える。

40

【数2】

式2：

$$\ln \left(\frac{I}{I_0} \right) = - \int_0^1 l f(\vec{s} + l \vec{r}) dl,$$

h は、測定可能な信号である。ゴールは、線

\vec{r}

50

に沿った特性 $f(\cdot)$ の分布を再構成することである。

【0010】

残念ながら、X線ソース102、格子108、110、及び112、並びに検出アレイ104を回転させるために、画像システムは、少なくともX線ソース102、検出器、並びに格子108、110、及び112を支持する回転フレーム、固定フレーム、回転フレームを支持するためのベアリング、ベルト、チェーン、磁気又は他のモータ付き駆動システム、回転フレームを回転させるコントローラ、及び角度位置情報を決定するための1つ以上のエンコーダ又はこれに類するものを含まなければならず、これは、暗視野イメージングシステム全体に複雑さを与え、コストを増大させる。加えて、回転部品は、各回転中に回転部品に動的な構造の変化をもたらす力 g を受け、これは、格子が正確に各測定でステッピングされるように、位相ステッピング部品の機械的要求及び耐性を増加させる。10

【課題を解決するための手段】

【0011】

本明細書に説明される態様は、上記の課題等に対処する。

【0012】

一態様では、暗視野イメージング方法は、X線干渉計を含むイメージング装置を用いて対象物の暗視野画像投影を取得すること、各取得した投影のための対象物に対する所定の周波数であって、各投影で互いに異なる当該所定の周波数を有する圧力波を付与すること、及び取得した投影を処理し、対象物の3D画像を生成することを含む。20

【0013】

別の態様では、イメージングシステムは、暗視野イメージングのためのスキャナを含み、スキャナは、ソース／検出器ペアと、被験者支持体と、所定の周波数を有する圧力波を生成し、送信するように構成された圧力波発生装置と、対象物に付与される互いに異なる周波数を持つ互いに異なる圧力波を用いて、対象物の少なくとも2つの暗視野投影を取得するためにスキャナ及び圧力波発生装置を制御するコンソールとを含む。

【0014】

別の態様では、方法は、対象物をスキャンするイメージングシステムのソース／検出器ペアと対象物との間に相対的な動き無しに取得されたデータを用いて、及び各取得された投影に対して互いに異なる周波数を持つ圧力波を付与することにより、対象物の3D暗視野画像を生成することを含む。30

【0015】

本発明は、様々な部品及び部品のアレンジメント、並びに様々なステップ及びステップのアレンジメントを探ることができる。図面は、好ましい実施形態を表す目的のみのためであり、発明を限定するとして見なされるべきではない。

【図面の簡単な説明】

【0016】

【図1】図1は、暗視野イメージングのために構成された従来技術の装置を模式的に表す。

【図2】図2は、線に沿った対象物位置拡大がどのように暗視野イメージングに影響を及ぼすかを模式的に表す。40

【図3】図3は、線に沿った対象物位置拡大がどのように暗視野イメージングに影響を及ぼすかを模式的に表す。

【図4】図4は、3D暗視野格子ベースDPCIイメージングのために構成されたイメージングシステムを模式的に表す。

【図5】図5は、3D暗視野格子ベースDPCIイメージング方法の例を表す。

【発明を実施するための形態】

【0017】

図4を参照すると、少なくとも3D暗視野イメージングために構成されたスキャナ401を含むイメージングシステム400が模式的に表されている。スキャナ401は、検査領域406及び対象物417又はその中の被験者を横断する放射線を放射する、フォーカ

50

ルスポート 404 を備える放射線源 402 (例えば X 線管) を含む。放射線感受性検出アレイ 408 は、検査領域 406 を挟んで放射線源 402 の反対側に位置する。放射線感受性検出アレイ 408 は、検査領域 406 を横断する放射線を検出し、これを示す暗視野に関する暗視野信号を含む信号を生成する。

【 0018 】

X 線イメージング干渉計は、3 つの格子構造、ソース格子 410 と、位相格子 412 と、吸収格子 414 とを含む。ソース格子 410 、位相格子 412 、及び吸収格子 414 は、それぞれ格子ライン周期を有し、例えば、「位相コントラストイメージング」という名称で 2012 年 6 月 8 日に出願され、コーニンクレッカ フィリップス エレクトロニクス エヌ・ヴェに譲渡された出願整理番号 13/514,682 に述べられている (この出願全体は、本明細書に参照により包含される) 通り、或る距離で隔てられている。一般に、放射線の経路においてソース格子 410 は、フォーカルスポット 404 に隣接し、透過スリットを有する吸収マスクとして作用し、発せられた放射線ビームをフィルタし、個々にコーヒーレント (しかし、相互にインコヒーレントな) ソースを作り出す。10

【 0019 】

対象物は、対象物の屈折率の実数部分の局部勾配に比例するコヒーレントな X 線の屈折を引き起こし、角度偏差は、位相格子 412 を通して局部的に透過された強度の変化をもたらす。位相格子 412 は、対象物に隣接して位置し、ビームスプリッタとして作用し、入ってくる X 線を線形の周期的なフリンジパターンを干渉し、形成する屈折されたビームに分割する。吸収格子 414 は、検出器 408 のための透過マスクとして作用し、局部的フリンジ位置を信号強度変動に変換する。位相 / 吸収格子 412 / 414 は、角度偏差を局部的に透過された強度の変化に変換するマルチコリメータと見なすことができ、これは標準又は他のイメージング検出アレイで検出することができる。20

【 0020 】

位相格子 412 及び吸収格子 414 は、 z 軸に垂直な横方向に、相互に対して並進するように構成される。これは、横断方向にある位相格子 412 及び吸収格子 414 の (異なるスピードで同じ方向、又は同じ若しくは異なるスピードで反対方向に) 一方又は両方を並進させることを含む。例示的目的で、下記は、吸収格子 414 が並進する構成に関して述べている。格子ステッパ 418 は、吸収格子 414 を所定の離散ステップサイズのインクリメントで動かす位相ステッピングアルゴリズムに少なくとも基づいて、吸収格子 414 の並進 (すなわちステッピング) を制御する。30

【 0021 】

圧力波発生器 420 は、検査領域 406 及びその中の対象物 417 を横断する圧力波を発生させ、送信する。圧力波発生装置 402 は、エネルギーの一形態を所定の周波数の圧力波に変換することができる変換器又はこれに類するものを含んでもよい。適切な周波数は、 1 ヘルツ (1 Hz) と 1000 ヘルツ (1000 Hz) との間の周波数であり、これは、検査領域 406 における対象物 417 の物理的な変位に似た検査領域 406 における対象物 417 の物理的な変形をもたらす、対象物 417 の物質の圧縮及び / 又は振動を引き起こす。40

【 0022 】

汎用コンピューティングシステム又はコンピュータは、操作コンソール 424 として供される。コンソール 424 は、モニタなどの人間が読み取ることができる出力装置と、キーボード、マウス等の入力装置とを含む。コンソール 424 にあるソフトウェアは、操作者がイメージングシステム 400 と相互作用する及び / 又は当該システムを操作することを可能にする。このような相互作用は、圧力波発生装置 420 を利用する暗視野イメージングスキャンプロトコルの選択、スキャンの開始等を含む。被験者支持体 416 は、検査領域 406 において対象物 417 を支持する。50

【 0023 】

一つの暗視野イメージングプロトコルを用いて、圧力波発生装置 420 は、対象物 417 を通過する圧力波を送信するように起動され、格子ステッパ 418 は、投影の取得のた

めの位相符号化ステップを通して吸収格子 414 をステッピングし、互いに異なる周波数を持つ圧力波が、互いに異なる投影のために生成され、ソース / 検出器ペア 402 / 408 と対象物 417との間に相対的な動きが無い投影が取得される。位相符号化ステップ及び / 又は投影の数は、デフォルトであり得、ユーザが規定でき、及び / 又は他のやり方で決定することができる。

【0024】

このようなアルゴリズムを用いて、圧力波は、対象物 417 の物質と相互作用し、このような相互作用は、各投影に対して、対象物 417 の異なる物質の変形をもたらし、これは、効果的には、ソース 402 と検出器 408 との間の線経路に沿った対象物 417 の物理的な動きに似ている。暗視野信号 h は、ソース 402 からの対象物 417 の距離の関数であるため、結果として生じる投影のセットは、各線に沿った減衰を決定するのに使用することができる情報を含み、これはより詳細に次に説明される。10

【0025】

上記に述べたとおり、暗視野信号 h は、式 2 に示されるように表され、以下に再度記載する。

【数 2】

式 2 :

$$h = -\ln \left(\frac{l}{l_0} \right) = \int_0^1 l f(\vec{s} + l \vec{r}) dl.$$

20

組織の低圧縮率のために、組織は、圧力波における局部変位と反応する。理想的な条件の下で、変位

$$\Delta_l$$

は、式 3 に示されるように圧力波励起の下で

$$\vec{r}$$

に沿って一致することができ、

【数 3】

式 3 :

$$\Delta_l = a e^{-i(t k_t + (\vec{s} + l \vec{r}) k_r)},$$

30

a は変位の振幅、 i は $\sqrt{-1}$ 、 k_t は音波の周波数、 k_r は波長、 t は時間である。スナップショット ($t = \text{定数}$) に対しては、(各線に対する) 定数部分 C は、式 4 に示されるようにパラメータ l を使用して

$$\vec{r}$$

40

に沿った変位から分離することができ、

【数 4】

式 4 :

$$\Delta_{M,l} = C_M e^{-i l k_{M,l}},$$

M は、波励起パラメータのセットであり、

$$M = \{a_M, C_M, k_{M,l}\}$$

50

である。

【0026】

式2及び式4に基づいた、局部変位の関数としての暗視野イメージング測定 h は、式5に示されるように表すことができる。

【数5】

式5：

$$h(M) = \int (l + \Delta_{M,l}) f(\vec{S} + l\vec{r}) dl.$$

10

基準測定

$$h(M_0), \Delta_{M_0,l} = 0$$

を用いると、式5は、式6に示されるように記載することができる。

【数6】

式6：

$$h(M) = h(M_0) + \int \Delta_{M,l} f(\vec{S} + l\vec{r}) dl = h(M_0) + C_M \int e^{-ilk_{M,l}} f(\vec{S} + l\vec{r}) dl.$$

20

モジュレーションのセットを用いると、式6は、フーリエ変換になる。

【0027】

暗視野信号プロセッサ422は、検出アレイ408によって生成され出力された暗視野信号を処理し、スキャンされた対象物417の3Dデータを作成する。これは、逆フーリエ変換、線

$$\vec{r}$$

に沿った特性 $f(\cdot)$ の分布の再構成、及び対象物の3D画像の作成を含む。組織の不均質な弾性特性が変位場を妨げる場合、反復再構成及び測定の離散形成が、一つの組み合わせられた再構成において弾性視野と暗視野とを解決するために使用することができる。

30

【0028】

図5は、投影の間、ソース／検出器ペア402／408と対象物417との物理的な動きの無い暗視野イメージング方法の例を表す。

【0029】

動作の順番は、限定的ではないと認められるべきである。従って、他の順番がここに検討される。加えて、1つ以上の動作は省略されてもよく、及び／又は1つ以上の追加の動作が含まれてもよい。

【0030】

502では、ソース／検出器ペア402／408と対象物417との間に相対的な動きが無い対象物417の暗視野スキャンの基準投影が取得される。

40

【0031】

504では、所定の周波数を持つ圧力波が対象物に付与され、ソース402と検出器408との間の線経路に沿った対象物417の実際の物理的な変位に似た対象物417の変形をもたらす。

【0032】

506では、ソース／検出器ペア402／408と対象物417との間に相対的な動きが無い第1変形を受けた対象物417の暗視野スキャンの次の投影が取得される。

【0033】

508では、別の投影が取得されるべきかが決定される。

50

【0034】

取得されるべきである場合、動作 504 及び 506 は、次の異なる周波数を持つ圧力波で繰り返される。

【0035】

取得されるべきでない場合、510 では、対象物 417 の 3D 画像を生成するために投影が処理される。

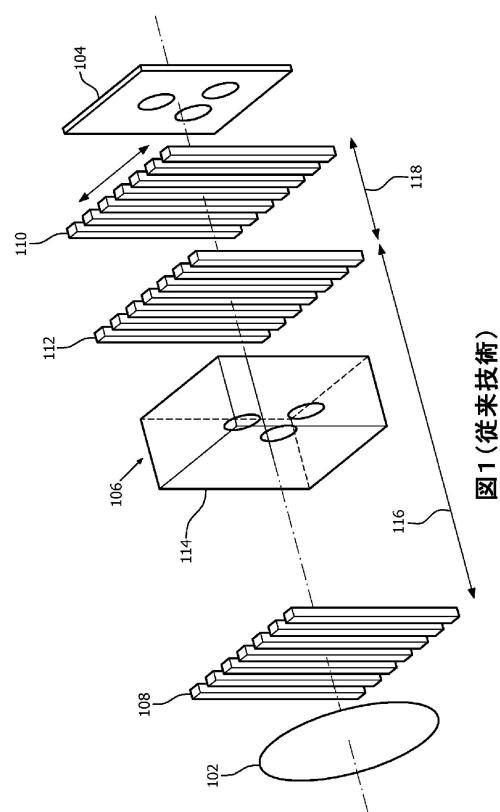
【0036】

上記方法は、コンピュータ可読命令によって実行されてもよく、コンピュータプロセッサによって実行される場合、プロセッサに説明した動作を実行させるコンピュータ可読保存媒体にエンコードされてもよく又は組み込まれてもよい。追加的に又は代替的に、コンピュータ可読命令の少なくとも 1 つは、信号、搬送波、又は他の一時的な媒体によって実行される。10

【0037】

本発明は、好ましい実施形態を参照して説明してきた。他者が前述の詳細な説明を読み理解する際に、修正及び変更が生じ得る。本発明は、全てのこのような修正及び変更が添付の請求項の範囲又はこれらと同等のものの範囲内にある限りにおいて、これらを含むとして解釈されることを意図している。

【図 1】



【図 2】

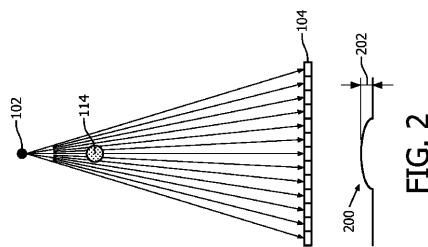


FIG. 2

【図 3】

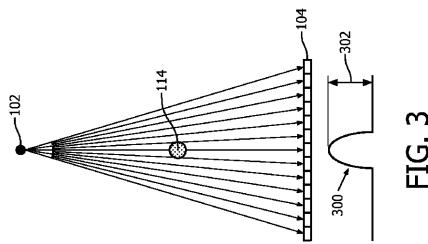


FIG. 3

【図4】

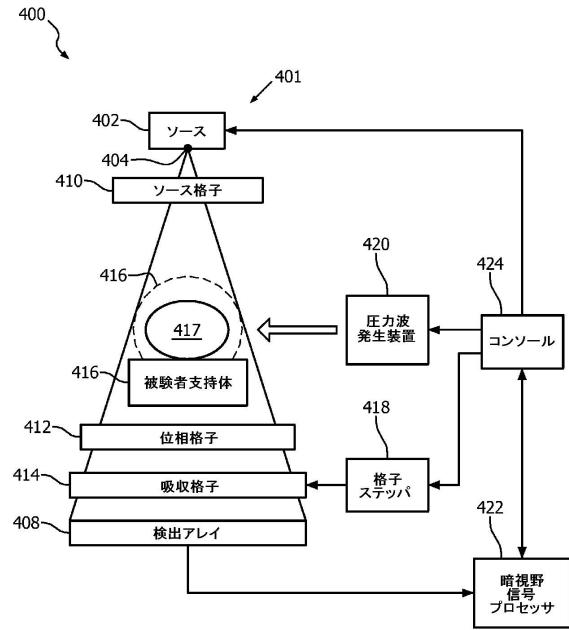


図4

【図5】

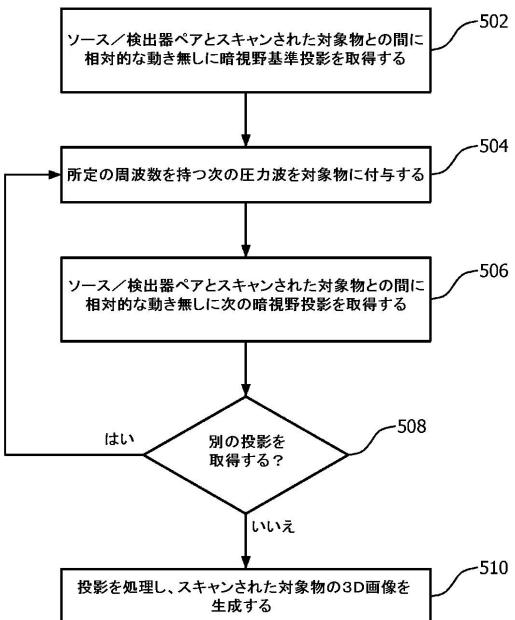


図5

フロントページの続き

(72)発明者 プロクサ ローランド

オランダ国 5656 アーエー アインドーフェン ハイ テック キャンパス ビルディング
5

審査官 藤田 都志行

(56)参考文献 米国特許出願公開第2005/0228271(US,A1)

米国特許出願公開第2010/0074395(US,A1)

特開2009-178185(JP,A)

Shu-Ang Zhou, Anders Brahme, "Development of phase-contrast X-ray imaging techniques and potential medical applications", *Physica Medica*, 2008年, Vol. 24, pp. 129-148

Theron J. Hamilton et al., "Ultrasonically Modulated X-Ray Phase Contrast and Vibration Potential Imaging Methods", *Proc. of SPIE*, 2006年 2月, Vol. 6086, pp. 1-11

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

G01N 23/00 - 23/227

A61B 6/00 - 6/14

JSTPlus/JMEDPlus/JST7580(JDreamIII)