

(19) 日本国特許庁(JP)

## (12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第6637485号  
(P6637485)

(45) 発行日 令和2年1月29日(2020.1.29)

(24) 登録日 令和1年12月27日(2019.12.27)

(51) Int.Cl.

F 1

GO 1 N 23/041 (2018.01)  
GO 1 N 23/201 (2018.01)GO 1 N 23/041  
GO 1 N 23/201

請求項の数 13 (全 19 頁)

(21) 出願番号 特願2017-507434 (P2017-507434)  
 (86) (22) 出願日 平成27年8月4日 (2015.8.4)  
 (65) 公表番号 特表2017-524139 (P2017-524139A)  
 (43) 公表日 平成29年8月24日 (2017.8.24)  
 (86) 國際出願番号 PCT/EP2015/067864  
 (87) 國際公開番号 WO2016/023782  
 (87) 國際公開日 平成28年2月18日 (2016.2.18)  
 審査請求日 平成30年8月2日 (2018.8.2)  
 (31) 優先権主張番号 14180751.1  
 (32) 優先日 平成26年8月13日 (2014.8.13)  
 (33) 優先権主張国・地域又は機関  
歐州特許庁 (EP)

早期審査対象出願

(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 100107766  
弁理士 伊東 忠重  
(74) 代理人 100070150  
弁理士 伊東 忠彦

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】トモグラフィにおける暗視野イメージング

## (57) 【特許請求の範囲】

## 【請求項 1】

微分 X 線位相コントラストイメージングにおいて暗視野画像の忠実性又は正確性を改善するように構成された画像信号処理装置であつて、

撮像される試料中への X 線ビームの投影後に検出器に入射する前記 X 線ビームに応答して前記検出器によって検出された干渉測定データ、を前記検出器から受信するように構成された信号入力ポートであり、前記干渉測定データは、位相コントラスト信号及び暗視野信号を含む、入力ポートと、

画像再構成アルゴリズムを実行して少なくとも前記暗視野信号を暗視野画像へと再構成するように構成されたプロセッサであり、少なくとも前記暗視野信号を前記暗視野画像へと前記再構成することは、前記暗視野信号への前記位相コントラスト信号のクロストークを捕捉するように構成されたクロストークモデルコンポーネントを組み入れた順モデルに基づく、プロセッサと、

少なくとも前記再構成された暗視野画像を表示装置に出力するように構成された画像出力ポートと、

を有する装置。

## 【請求項 2】

前記順モデルは、i) 微分位相コントラスト信号に特化した順モデルと、ii) 前記暗視野信号に特化した順モデルとの組み合わせから形成された合成順モデルである、請求項 1 に記載の装置。

**【請求項 3】**

前記クロストークモデルコンポーネントは、前記微分位相コントラスト信号に特化した順モデルの空間偏微分係数の絶対値に比例する、請求項 2 に記載の装置。

**【請求項 4】**

前記順モデルは、前記位相コントラスト信号及び前記暗視野信号の双方に共通の順モデルである、請求項 1 に記載の装置。

**【請求項 5】**

前記共通の順モデルは、前記位相コントラスト信号に関するモデルコンポーネントと、前記暗視野信号に関するモデルコンポーネントとを含み、前記クロストークモデルコンポーネントは、前記位相コントラスト信号に関する前記モデルコンポーネントの空間偏微分係数の絶対値に比例する、請求項 4 に記載の装置。 10

**【請求項 6】**

前記画像再構成アルゴリズムは繰り返し再構成アルゴリズムである、請求項 1 乃至 5 の何れか一項に記載の装置。

**【請求項 7】**

前記繰り返し再構成アルゴリズムの繰り返しは、目的関数の最適化によって進められる、請求項 6 に記載の装置。

**【請求項 8】**

前記目的関数は、前記順モデルのそれにおける残差を組み入れる、請求項 7 に記載の装置。 20

**【請求項 9】**

前記X線ビームのジオメトリは平行又は発散である、請求項 1 乃至 8 の何れか一項に記載の装置。

**【請求項 10】**

微分X線位相コントラストイメージングにおいて暗視野画像の忠実性又は正確性を改善するように構成された干渉X線撮像システムであって、

撮像される試料中へのX線ビームの投影後に検出器に入射する前記X線ビームに応答して前記検出器によって検出された干渉測定データ、を前記検出器から受信するように構成された信号入力ポートであり、前記干渉測定データは、位相コントラスト信号及び暗視野信号を含む、入力ポートと、 30

画像再構成アルゴリズムを実行して少なくとも前記暗視野信号を暗視野画像へと再構成するように構成されたプロセッサであり、少なくとも前記暗視野信号を前記暗視野画像へと前記再構成することは、前記暗視野信号への前記位相コントラスト信号のクロストークを捕捉するように構成されたモデルコンポーネントを組み入れた順モデルに基づく、プロセッサと、

少なくとも前記再構成された暗視野画像を表示装置に出力するように構成された画像出力ポートと、

を有する装置を有する、

干渉X線撮像システム。

**【請求項 11】**

微分X線位相コントラストイメージングにおいて暗視野画像の忠実性又は正確性を改善する画像信号処理方法であって、

撮像される試料中へのX線ビームの投影後に検出器に入射する前記X線ビームに応答して前記検出器で検出された干渉測定データ、を受信するステップであり、前記干渉測定データは、位相コントラスト信号及び暗視野信号を含む、ステップと、

再構成アルゴリズムを用いて、少なくとも前記暗視野信号を暗視野画像へと再構成するステップであり、少なくとも前記暗視野信号を前記暗視野画像へと前記再構成することは、前記暗視野信号への前記位相コントラスト信号のクロストークを捕捉するように構成されたモデルコンポーネントを組み入れた順投影モデルに基づく、ステップと、

少なくとも前記再構成された暗視野画像を出力するステップと、

10

20

30

40

50

を有する方法。

【請求項 1 2】

装置又はシステムを制御するためのコンピュータプログラムであって、プロセッシングユニットによって実行されるときに請求項 1 1 に記載の方法を実行するように適応されたコンピュータプログラム。

【請求項 1 3】

非一時的なコンピュータ読み取り可能媒体に格納された、請求項 1 2 に記載のコンピュータプログラム。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

10

【0 0 0 1】

本発明は、画像信号処理装置、画像信号処理方法、コンピュータプログラムプロダクト、及びコンピュータ読み取り可能媒体に関する。

【背景技術】

【0 0 0 2】

微分位相コントラストイメージングは、回折格子を有する干渉計を用いて、撮像したいと望む物体によって誘起される位相変化を画像化する撮像技法である。位相コントラスト画像データを処理するとき、最近になって研究団体の注目を集めた別の信号が出現する。これは、撮像対象物を通り抜ける際に電磁波が被るコヒーレンスの損失に関係する暗視野(ダークフィールド)信号である。しかしながら、観察されていることには、(このような暗視野信号からトモグラフィ再構成可能なような)暗視野画像は時々、アーチファクトに苦しめられる。

20

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0 0 0 3】

故に、暗視野画像の忠実性又は正確性を改善するための方法及び関連システムに対するニーズが存在し得る。

【課題を解決するための手段】

【0 0 0 4】

本発明の上記目的は、独立請求項の事項によって解決され、更なる実施形態が従属請求項に組み入れられる。

30

【0 0 0 5】

なお、以下に記載される本発明の態様は、画像信号処理方法、コンピュータプログラム要素、及びコンピュータ読み取り可能媒体にも等しくあてはまる。

【0 0 0 6】

本発明の第 1 の態様によれば、画像信号処理装置が提供され、当該装置は、

撮像される試料中への X 線ビームの投影後に検出器に入射する該 X 線ビームに応答して検出器で検出された干渉測定データ、を受信する入力ポートであり、該データは、位相コントラスト信号及び暗視野信号を含む、入力ポートと、

画像再構成アルゴリズムを実行して少なくとも暗視野信号を暗視野画像へと再構成するように構成された再構成部であり、該再構成アルゴリズムは、暗視野信号への位相コントラスト信号のクロストークを捕捉するように構成されたモデルコンポーネントを組み入れた順モデルに基づく、再構成部と、

40

少なくとも再構成された暗視野画像を出力する出力ポートと  
を有する。

【0 0 0 7】

特に、位相コントラスト信号は微分位相コントラスト信号とし得る。これらの信号は、X 線ビームが、試料と、干渉計構成の少なくとも 2 つの回折格子とを通り抜けることを可能にすることによって取得される。

【0 0 0 8】

50

提案する方法は、特に特定の（又は、一実施形態において、明確な）クロストークコンポーネントを使用することによって、これらの画像信号間のクロストークに具体的に対処するので、導出される暗視野イメージが被るアーチファクトがいっそう少ない（又は存在しない）。

#### 【0009】

一実施形態によれば、順モデルは、<sup>i</sup>微分位相コントラスト信号に特化した順モデルと、<sup>ii</sup>暗視野信号に特化した順モデルとの組み合わせから形成された合成順モデルである。この組み合わせの形成は、非線形演算子を伴い得るが、他の実施形態では線形演算子のみを伴ってもよい。一実施形態によれば、クロストークのモデルコンポーネントは、微分位相コントラスト信号に特化した順モデルの空間偏微分係数の絶対値に比例する。

10

#### 【0010】

他の一実施形態によれば、これら2つの信号の各々に特化した順モデルから構成された合成順モデルを持つのではなく、順モデルは、位相コントラスト信号及び暗視野信号の双方に共通の順モデルである。

#### 【0011】

共通順モデル又は合成順モデルの選択肢を持つことは、測定データ（サイノグラム）を処理する際の高められた柔軟性を提供する。サイノグラムは、2つのチャネル（それぞれ、位相コントラスト及び暗視野）に関するそれぞれのサイノグラムへと（好適な信号処理によって）予め分析され、次いで、提案する方法の一実施形態により処理されることができ、あるいは、サイノグラムは、ここで代替提案するように共通順モデルを用いることによって、直接的に処理ができる。

20

#### 【0012】

一実施形態によれば、共通順モデルは、位相コントラスト信号に関するモデルコンポーネントと、暗視野信号に関するモデルコンポーネントとを含み、クロストークのモデルコンポーネントは、位相コントラスト信号に関するモデルコンポーネントの空間偏微分係数の絶対値に比例する。一実施形態によれば、再構成アルゴリズムは繰り返し（イテラティブ）である。一実施形態によれば、この繰り返し再構成アルゴリズムは、目的関数の最適化によって進められる。

#### 【0013】

一実施形態によれば、目的関数は、順モデルのそれぞれにおける残差を組み入れる。

30

#### 【0014】

一実施形態において、目的関数は、双方の信号に関して共通のものであり、2つの信号が一緒に解かれる。故に、目的関数への双方のチャネルの寄与が説明付けられ、それによって高い忠実性のイメージが生み出されることが観察されている。

#### 【0015】

一実施形態によれば、ビームのジオメトリは平行又は発散（例えば、コーンビーム）である。ジオメトリが発散ジオメトリである場合、順モデルは補正コンポーネントを含んでいてよい。

#### 【0016】

暗視野信号は、散乱と屈折からの寄与との重ね合わせである。提案するシステムは、再構成において暗視野信号への非散乱寄与分を推定し、そしてそれ故に、実際の材料散乱特性を再構成したものに専らでないにしても大きく対応する再構成暗視野画像を提供する。

40

#### 【0017】

F B Pベース又は繰り返しの何れかである暗視野信号に関する以前の再構成アルゴリズムは、深刻なアーチファクトにつながる。F B P法におけるアーチファクトの存在の理由のうちの1つは、暗視野信号への屈折寄与（すなわち、クロストーク）それ自体が、従来からの“線積分”のモデル仮定に従わないことである。提案するクロストークのモデル化を有する繰り返し再構成は、この線積分パラダイムとの不適合の回避法を提供する。

#### 【図面の簡単な説明】

#### 【0018】

50

【図1】干渉回折格子を含むX線撮像システムを示している。

【図2】再構成された減衰、位相、及び暗視野画像と、それらそれぞれの、図1の撮像システムの検出器によって検出された投影データとを示している。

【図3】上段に、微分位相サイノグラムと、微分位相サイノグラムの導関数の絶対値の画像とを示し、下段に、それぞれの再構成画像を示している。

【図4】上段に、暗視野サイノグラムと、微分位相サイノグラムと、微分位相サイノグラムの導関数の絶対値とを示し、下段に、それぞれの再構成画像を示している。

【図5】画像信号処理方法のフローチャートを示している。

#### 【発明を実施するための形態】

##### 【0019】

図1を参照するに、干渉装備を含むX線撮像システム(IM)のコンポーネントが示されている。この撮像システムは、コンピュータ断層撮影スキャナ(CT)又はその他のX線撮像モダリティ(例えば、回転C/Uアーム型若しくはその他のもの)とし得る。

##### 【0020】

広く、X線源XRから放たれたX線放射が、検査領域を通り抜け、次いで検出器Dに入射する。

##### 【0021】

検査領域内に、撮像される対象物PBが存在する。X線ビームは、それを光学的に波(ウェーブ)として見るとき、検査領域中を伝播して撮像対象の試料PB内の物質と相互作用する電磁波を画成する。

##### 【0022】

CTでは、複数の投影方向に沿って試料PB中にX線ウェーブを投影するために、少なくともX線源XRが回転式ガントリー上に搭載される。

##### 【0023】

物質との波の相互作用は、波が改変されることをもたらす。この改変は、一方で、伝統的なX線イメージングで通常に研究されているものである減衰を含む。減衰は、波が吸収されること及びコンプトン散乱されることの結果である。他の改変は、波が物質を通り抜けるときの波の位相変化に關係する。この波変化は、波面の向きの変化によって理解されることができる。最後に、ここでの主たる興味であるが、波はまた、一般的に小角散乱と呼ばれる別タイプの散乱をも受ける。これが、局所的小角散乱にコントラストが対応するものである暗視野イメージングで画像化することを望む散乱タイプである。小角散乱は、波が、先ず干渉装備を通り抜け、次いで物質を通り抜けるときの、コヒーレンスの損失として理解されることがある。光学的な波として、コヒーレンスの損失は、波面を曲げたりゆがませたりする形態で物質によって波に与えられる乱れとして理解されることがある。伝統的な吸収ベースのX線イメージングは、試料内の線形減衰係数の乱れを調べるが、位相コントラストイメージングでは、試料内の屈折率の乱れを調べる。暗視野イメージングでは、波が被るコヒーレンスの損失に対して試料PB内の個々の体積点がどのように寄与するかを問う。この寄与は、可視性Vと呼ばれる量によって測定される。より具体的には、暗視野イメージングは、位相回折格子G<sub>1</sub>によって作り出される縞模様の可視性の損失に關係する。

##### 【0024】

CTでは、検査領域を、複数の体積要素すなわち“ボクセル”に分割された空間の一部として考える。試料は検査領域内に存在するので、このボクセルのグリッドが、試料PBそれ自体のボクセル化を与える。コンピュータ断層撮影では、1つが、ボクセルからなる“画像空間”であり、もう1つが、検出器にレジストレーションされる投影データからなる“投影空間”である、2つの異なる空間を見る。コンピュータ断層撮影では、再構成すること、すなわち、投影空間における投影データから画像空間におけるボクセルの値を計算することを望む。これは逆問題として理解される。より具体的には、ここでの最たる興味であるが、暗視野画像の再構成は基本的に、投影データから暗視野画像のボクセルごとの関心ある関連量(このケースでは可視性V)を計算する作業である。再構成されたボク

10

20

30

40

50

セルの集合が、暗視野信号に関する試料を通るそれぞれの平面における、（ここで暗視野画像と称される）1つ以上の断面画像を表現する。

#### 【0025】

見出されたことには、干渉装備及び試料PBの双方との波の相互作用後に検出器でX線ウェーブを検出する場合、関心ある3つの信号、すなわち、減衰、位相、及び暗視野信号の何れも全て、衝突する波によって生じる（1つ以上の）検出器信号から復元可能である。

#### 【0026】

干渉装備は基本的に回折格子のシステムである。ここで、1つの例示的な干渉構成について、図1を更に参照して簡潔に説明する。ここで説明する干渉装備（“干渉計”）は、  
10 単なる例示的な一実施形態であり、他の構成も想定される。

#### 【0027】

干渉計（これは、非限定的な一実施形態において、タルボ（Talbot）型又はタルボ・ロー（Talbot-Lau）型のものである）は、2つの回折格子G<sub>1</sub>、G<sub>2</sub>（タルボ型）又はそれより多く、好ましくは、3つの回折格子G<sub>0</sub>、G<sub>1</sub>、G<sub>2</sub>（タルボ・ロー型）を含んでいる。X線源側の第1の減衰回折格子（“ソース回折格子”）G<sub>0</sub>は、X線源XRで放射されたX線放射波面の空間的コヒーレンスに合致してそれを生じさせる周期p<sub>0</sub>を持つ。

#### 【0028】

回折格子G<sub>0</sub>から距離dに位相回折格子G<sub>1</sub>（周期p<sub>1</sub>を持つ）が配置され、それが、更なる下流に、周期p<sub>2</sub>を持つ干渉縞を生じさせる。この干渉縞を検出器Dによって検出することができる。ここで、X線源と検出器との間の検査領域に（撮像される）試料PBが導入されるとき、干渉縞の位相がシフトされる。  
20

#### 【0029】

残念ながら、干渉縞の位相シフトは典型的に小さすぎて直接的に空間的に分解されることができない。大抵のX線検出器の分解能はこれを可能にしていない。故に、この干渉縞位相シフトを“サンプリング”するために、干渉縞と同じ周期p<sub>2</sub>を持つ第2の減衰回折格子G<sub>2</sub>が、回折格子G<sub>1</sub>から距離lに配置される。

#### 【0030】

位相シフトのサンプリングは、複数の異なる手法で達成されることができ、それらの全てがここで想定される。  
30

#### 【0031】

例えば、一実施形態において、これらの回折格子のうちの少なくとも1つと検出器Dとの間での相対的な動きが可能にされ得る。これは、一実施形態において、“位相ステッピング”によって達成されることができ、位相ステッピングにおいては、アクチュエータを用いて、例えばアナライザ回折格子G<sub>2</sub>を、横方向に複数の異なる離散的な回折格子位置に移動させ、各回折格子位置で各ピクセルpxでの強度を測定する。“横方向”移動は、ここでは、z方向（図1参照）に沿うこと、すなわち、波XBの伝播方向と回折格子の“溝”方向とに垂直な方向での移動を意味する。位相ステッピング手法は、F. Pfeiffer等によって“Phase retrieval and differential phase-contrast imaging with low-brilliance X-ray sources”, Nature Phys. Lett. 2, pp. 258-261 (2006年)に記述されている。このPfeifferの文献にて説明されているように、正確な結果のためには、回折格子間の距離d、l（“タルボ距離”）を注意深く調節しなければならない。  
40

#### 【0032】

他の実施形態において、その他の回折格子の一部（G<sub>0</sub>又はG<sub>1</sub>）が、G<sub>2</sub>に対して移動され、且つ／或いは、試料それ自体が移動される。他の選択肢は、X線源における焦点シフトを可能にすることである。

#### 【0033】

10

20

30

40

50

使用されるサンプリング方法を問わず、結論は一般に、各ピクセルでの強度  $I$  がその検出器 - ピクセル経路に関する局所的な強度カーブを形成するように振動することが見出されることになるというものである。換言すれば、各ピクセルが、アナライザ回折格子 G 2 の移動中に時間の関数として（よりふさわしくは、異なる回折格子位置の関数として）異なる強度（それぞれのピクセルでの）の時系列を記録する。先述のように、数ある量の中でもとりわけ位相シフト（又は屈折）及び暗視野信号（又は可視性）を“エンコード”するのは、この各ピクセル  $p \times$  での振動する強度信号  $I$  である。

#### 【0034】

×線撮像システムがCTスキャナ型のものである場合、各ピクセルに関する強度信号が複数の異なる投影方向から記録されることになる。

10

#### 【0035】

ピクセルごとに（また、CTでは、投影方向ごとに）記録された強度の集合を、ここでは、干渉投影ロー（未加工）データ又は“共通”サイノグラム  $m$  と称する。

#### 【0036】

共通サイノグラムは、検出器出力エレクトロニクスから、再構成部モジュール RECON を含んだ信号処理チェイン SPS へと転送される。

#### 【0037】

再構成部モジュール RECON は、複数の方向からの強度信号を試料の断面画像へと再構成するように動作する。

#### 【0038】

一実施形態において、全ての実施形態において必ずしもそうであるわけではないが、信号処理チェインは、検出器 D と再構成部 RECON との間に入れられた解析部モジュール SP を含む。解析部モジュール SP は、例えばフーリエ解析部（好ましくは、高速フーリエ変換部 FFT として構成される）であり、共通サイノグラム  $m$  を、関心ある画像信号チャネルの各々について1つずつの、2つ又は3つの別々のサイノグラムへと分解するように動作する。特に、解析部モジュール SP は、共通サイノグラムを、位相コントラストサイノグラム  $m$  と暗視野サイノグラム  $m$  とに分離する。画素ごとの振動する強度を2つ又は3つの信号 / サイノグラム（減衰信号が第3の成分である）とするこの解析は、別のところ、例えば、M. Bech 等の“Quantitative X-ray dark-field computed tomography”, Phys. Med. Biol. 55 (2010年), pp. 5529-5539 の、p. 5531 の式(1), (4) にいっそう十分に記述されている。なお、この文献の全体をここに援用する。簡潔に言えば、位相信号及び暗視野信号（すなわち可視性）に関するサイノグラムは、それぞれの検出器ピクセルによって検出されたそれぞれの強度  $I$  振動のゼロ次成分及び一次成分から計算されることができる。換言すれば、フーリエ解析部 SP は、2つの特化したサイノグラム  $m$  及び  $m$  への分解を達成するために、それぞれの強度信号についてピクセルごと及び投影方向ごとに処理を行う。

20

#### 【0039】

故に、実施形態に応じて、再構成部 RECON は、共通サイノグラムを受け取って、それから特に暗視野画像を再構成するか、あるいは他の一実施形態において、再構成部は、少なくとも2つのサイノグラム  $m$  及び  $m$  を受け取り、ここで一実施形態にて提案されるように、これら双方を使用して特に暗視野画像を再構成するか、の何れかである。そして、それぞれの断面再構成結果をモニタ又はディスプレイ MT 上で可視化するように、好適な可視化 / レンダリングモジュールが動作し得る。

30

#### 【0040】

ここで提案するのは、繰り返し再構成スキームを用いることであり、提案する方法は、繰り返し（イテレーション）を進める（ドライブする）のに使用される新しい目的関数を含む。特に、この目的関数の最適化手順が、再構成画像の当初推定がそれぞれの画像に到達するように繰り返し更新されるのに使用される更新関数を生み出す。理解されるべきことには、ここでは主に暗視野画像に注目するが、再構成は常に、その他2つの信号のうち

40

50

の少なくとも一方（多くのケースで双方）の推定、特に、位相コントラスト画像の推定を同様に含む。実際、一実施形態によれば、これらのチャネルのうちの2つからの（すなわち、位相コントラストチャネル及び暗視野画像チャネルからの）情報を統合する共通目的関数が提案される。

#### 【0041】

我々の手法における1つのキーポイントは、再構成において暗視野信号への非散乱寄与分を推定し、そしてそれ故に、試料P B内の材料散乱特性を単独に、又は単独でないにしても少なくとも主に、再構成したものである再構成散乱画像を提供することである。観察されていることには、提案する方法に従った再構成データの正確性及び忠実性は、暗視野画像信号のこれまでの再構成結果よりも優れている。それらの再構成結果は、アーチファクトだらけになることが頻繁に見受けられたものである。10

#### 【0042】

提案する再構成部についての更なる詳細を提供する前に、提案するアルゴリズムをより十分に動機付けるために、続く図2-4をここで参照する。図2-4にて、我々は、暗視野イメージの特定の視覚特性及びそれらのサイノグラムフェーズを調べている。

#### 【0043】

これまで報告されていることには、例えば物体のエッジによって引き起こされるようなX線波面における急変は、暗視野信号応答を生じさせ得る。換言すれば、位相コントラスト信号から暗視野信号への或る一定のクロストークが存在する。

#### 【0044】

図2は、ファントムスキャンに関して、3つの信号、すなわち、列Aの減衰、列Bの位相（すなわち、屈折率）、及び列Cの暗視野信号を示している。上段はサイノグラムを示しており、下段は再構成画像を示している。明らかなように、暗視野信号は、（物体のエッジのトレースのみが視認できるので）一貫性あるサイノグラムを形成せず、純粋なエッジ画像をもたらすが、これは、負の散乱がコヒーレンスの増大につながるので、物体の局所的な散乱特性を表さない。20

#### 【0045】

図3及び4は、散乱信号への“エッジ寄与”が実際に微分位相コントラスト信号から排除され得ることを例示するための2～3の画像実験を示している。

#### 【0046】

より具体的には、図3の上段はやはり、微分位相サイノグラムA（図2においてと同じ）と、その導関数の絶対値Bとを示している。図から見て取れるように、エッジサイノグラムは定性的に、暗視野サイノグラム（列C、図2の右上）と非常に似ているように見え、このエッジサイノグラムのフィルタ補正逆投影（FBP）は、再構成された散乱画像とほとんどそっくりに見える（図3の下段のC及びD参照）。

#### 【0047】

より詳細な現実の例を、マウスのスキャンからの画像データを示した図4に示す。列A、B、Cの上段は、それぞれ、暗視野サイノグラム、微分位相サイノグラム、及び微分によって微分位相サイノグラム（B）から導出された“エッジ”である。それぞれの列A-Cの下段は、（FBPによって得られた）それぞれのトモグラフィック再構成結果を示している。再構成された位相画像との暗視野画像の視覚的比較が、やはり、多くの画像フィーチャ（造形部）が位相コントラスト画像内のエッジと一致することを裏付けている。実際、暗視野画像の数多くのフィーチャが、微分位相コントラストサイノグラムから、その微分係数の絶対値を取った後にFBP再構成を行うことによって導出されたエッジ画像によって良好に再現され得る。しかしながら、エッジ画像内では視認できない一定のフィーチャ（図4の左下、列Aの下段中に矢印、破線の橢円、及び円によって指示している）が暗視野画像内に存在しており、故に、これらは、マウスの局所的な散乱特性に起因し得る。40

#### 【0048】

再構成暗視野イメージで以前に報告されたアーチファクトは、少なくとも部分的にクロ

10

20

30

40

50

ストークの量に関係することが見出されており、これは、トモグラフィック再構成を行うときに通常仮定する通常の線積分モデルには合わないものである。線積分モデルは、検出される投影データが、その線積分の経路である特定の経路に沿った関心量の累積に対応すると仮定する。線積分モデルの仮定は、減衰信号及び位相コントラスト信号に関して妥当なものであるが、暗視野信号中の位相信号誘起のクロストークに関しては状況が異なる。というのは、このクロストークは、検討される投影経路に沿って累積するとは言えないからである。しかしながら、提案する繰り返し再構成法を介して、暗視野信号に関する線積分仮定がもはや必要とされないように暗視野画像信号を好適に表現することができる系統的論述が見出された。

## 【0049】

10

次に、図5を参照して、再構成部RECONの動作を更に詳細に説明する。

## 【0050】

好適な一実施形態において、再構成部は繰り返し再構成アルゴリズムを実装する。繰り返し再構成は、順モデル関数に基づき、又は単に順モデルとして参照される。線形設定において、順モデルは、（基本的に、後に投影空間内でそれぞれのピクセル位置にマッピングされる線積分に沿ったボクセル値の和である）幾何学的順投影を実装する使いやすいシステム行列に帰着する。しかし、ここで提案する再構成アルゴリズムは、線形な順問題に限定されるものではなく、非線形な順問題にも有利に使用され得る。

## 【0051】

20

先に簡潔に示唆したように、順モデルは、画像空間内の関心量の特定の分布を所与として投影空間内の要素を説明付ける。順モデルは、繰り返し再構成アルゴリズムの主たるコンポーネントである。概念的に、順モデルは、実測定された投影データ（すなわち、サイノグラム）と、順モデルによって推定された“模造”投影データとの間の逸脱を測定する所謂“残差”を形成することを可能にする。そして、残差に関して目的関数を設定することができる。このとき、再構成は、選択された順モデルの下でサイノグラムを最も良く説明する又はそれに最も良く“フィット”する“最適”画像を見出すために、この目的関数を最適化することに狙いを定める。一実施形態において、目的関数は、状況に応じて、コスト関数又は効用関数の何れかとして表現され得る。そして、最適化は、1)コスト関数を最小にするものを見出すこと、又は2)効用関数を最大にするものを見出すことの何れかである。以下では、単に例として、最小化されるコスト関数について、繰り返し再構成の基礎にある最適化を説明する。しかしながら、これは、ここに記載される方法を限定するものとして解されるべきでない。何故なら、数値的考察は、コスト関数から効用関数への最適化問題の定式化の変更を必要とすることがあり、故に、最小化問題が最大化の問題になることがあるからである。

30

## 【0052】

上記2つの画像信号、すなわち、位相画像及び暗視野画像に関する順モデルを設定する手法は、以下：

## 【0053】

## 【数1】

$$m_\delta = \partial_r A\delta \quad m_\epsilon = A\epsilon \quad (1)$$

のように表現され得る。ここで、A（“システム行列”）は、幾何学的順投影演算子（従来の繰り返しCT再構成でも使用される）である。A内の各エントリーが、測定された線積分*i*へのボクセル*k*の寄与を、その幾何学レイ（線）のそのボクセルとの直線交わり長さ（ボクセル以外の基底関数（例えば、プロブ）が使用される場合には、その基底関数を通るレイに沿った線積分）として表す。微分演算子 $\partial_r$ は、半径方向（図1にzとして示す）における偏微分係数を指し示す。（1）のビームジオメトリは平行と仮定してもよいが、我々はこれを、更に後述するように一般化する。

## 【0054】

数学的に、図2-4の例示イメージに従って上述したような観察される効果は、散乱画

50

像と位相画像との間のクロストークである。そこで、好適なモデルコンポーネントを通じてクロストークを繰り返し再構成手順に含めることによって、このクロストークに対処することを、ここに提案する。

#### 【0055】

(1) から明らかなように、以下の実施形態では、検出器にて記録された強度が、先述の信号フーリエ解析部又はその他好適な分解部若しくは解析部の処理によって、位相コントラストサイノグラム  $m_\delta$  及び暗視野サイノグラム  $m_\epsilon$  である 2 つのサイノグラムへと分離又は分解されていると仮定する。そして、これらチャネルの各々について、式(1)の左手側又は右手側のように順投影子  $A$  が策定され得る。以前の手法と異なり、ここではここで、次式(又はこれと数学的に等価なもの) :

10

#### 【0056】

##### 【数2】

$$m_\delta = \partial_r A \delta \quad m_\epsilon = A \epsilon + \alpha |\partial_r^2 A \delta| \quad (2)$$

に従って、暗視野信号順投影子を位相コントラスト信号順投影子と融合又は結合することを提案する。

#### 【0057】

特に、測定された暗視野投影データ  $m$  に対する位相画像内のエッジの信号寄与を受け入れるために、位相コントラスト順投影子が暗視野順投影子と融合又は結合されて、暗視野画像信号  $m$  に関する合成的な順モデル((2)の右側の式)を形成する。更に別の言い方をすれば、位相コントラスト信号と暗視野信号とを混合することが提案される。暗視野信号に関するこの順モデルは、位相画像の順モデルと暗視野画像の順モデルとの線形又は非線形な組み合わせによって形成されるという意味で合成順モデルを含む。式(2)の実施形態において、この合成物を形成することは、位相信号の順モデルの加算及びその半径方向偏微分係数を取ることを含んでいる。その他の組み合わせも好適であることがあり、ここで想定される。微分係数を取ることは、位相信号からのクロストークを捕捉するよう構成されたモデルコンポーネントである  $|\partial_r^2 A|$  を生じさせる。換言すれば、関連する平面内のボクセルが線積分として投影空間に順投影され、そして、この線積分が現半径方向  $r$  (図1の  $z$  として示す) に沿って二階微分される。式(2)の実施形態において、この合成物を形成することは、半径方向で、すなわち、回折格子の溝が走っている方向に垂直な方向で、二次偏導関数を取ることを含んでいる。これは、図1中の方向  $z$  に対応する。当然ながら、 $r$  は投影方向とともに変化することになり、故に、サイノグラム上の各行で  $r$  は一般に異なるものとなる。このクロストークモデルコンポーネントの構造は、以下のように理解され得る。すなわち、一次偏導関数  $\partial_r$  は、位相変化すなわち波面の伝播方向の変化に関するモデル化アプローチに対応し、そして、二次偏導関数は、波面の湾曲の変化に対応する。換言すれば、暗視野信号への位相コントラスト(“エッジ”信号)の寄与が、“二重の微分”的にモデル化される。

20

#### 【0058】

モデル(2)において、 $A$  は、(1)で先に導入されたシステム行列又は幾何学的順投影演算子を表す。 $A$  それ自体は線形であるが、合成順モデル((2)の右側の式)それ自体は、非線形である絶対値演算子  $|\cdot|$  のために非線形である。ここでも、 $A$  は、平行(パラレル)ビームに合わせて構成されてもよいし、発散(ダイバージェント)ビーム(例えば、ファン又はコーン)に合わせて構成されてもよく、これについては更に後述する。

30

#### 【0059】

そして、提案する繰り返し再構成は、一実施形態において、特にコスト関数:

#### 【0060】

##### 【数3】

$$\Delta = |W_\delta(m_\delta - \partial_r A \delta)|^2 + |W_\epsilon(m_\epsilon - A \epsilon - \alpha |\partial_r^2 A \delta|)|^2 + R(\delta, \epsilon) \quad (3)$$

40

50

を最小化することにより、再構成を進めることによって取得され得る。ここで、 $W$  及び  $w$  は、必ずしもそうではないが例えれば（測定に関する統計モデルを仮定する）統計重み行列といった、重みパラメータであり、一実施形態において、画像 及び に関する正則化項又はペナルティ付け項が存在する。パラメータ は、経験的な（又は解析的に導出された）スケーリング係数を表す。

#### 【0061】

ボクセル画像 及び の関数としての（3）の最適化は、例えれば、標準的な非線形共役勾配アルゴリズム、又は例えれば拡張ラグランジュ法若しくは反復座標降下などといったその他好適な最適化方法を用いて実行され得る。

#### 【0062】

このコスト関数は、位相及び暗視野の2つの信号チャネルに関する残差の項にて表現されており、暗視野信号に関する残差が、クロストーク成分を有する新たな合成順モデルを用いて形成されている。2つのチャネルからの残差が、単一の目的関数又はコスト関数へと二乗和結合されており、故に、各イテレーションステップで2つの画像 、 が共に再構成される。

#### 【0063】

そして、一実施形態において、コスト関数 を最小化するための好適な数値手法（例えれば、共役勾配アルゴリズムなど）の適用が、繰り返し再構成のための更新関数を規定する繰り返し表現をもたらす。暗視野画像に関する当初推定（これは、各ボクセルをゼロに設定する程度に単純とし得る）を用いて、繰り返しを通じて更新関数を用いて更新し続ける。そして、一実施形態において、必ずしも各繰り返しに関してではないが、反復的にコスト関数を評価して、コスト が閾値を下回るまで低下したかをチェックする。低下している場合、繰り返しが中止し、そして、最後の画像が暗視野画像として出力される。他の実施形態において、固定された予め定められた回数閾値の繰り返しが存在し、この閾値に達すると繰り返し再構成が終了する。一部の状況において、位相コントラスト画像も関心のあるものであり、これら2つは共に再構成されているので、位相コントラスト画像も同様に出力され得る。

#### 【0064】

この新たな繰り返し再構成アルゴリズムは、図5のフローチャートによって、以下のようにまとめられ得る。

#### 【0065】

概して、ステップS505にて、干渉投影データが受け取られる。干渉投影データは、検出器にて、複数の異なる視角で受け取られ、信号処理の後に、位相コントラスト $m$  及び暗視野 $m$  である2つの信号チャネルに関する2つのサイノグラム $m$  及び $m$  として記録される。

#### 【0066】

ステップS510にて、測定されたサイノグラムと、式（3）に従った目的関数又はそれと数学的に等価なものとに基づいて、繰り返し再構成アルゴリズムが実行される。

#### 【0067】

（例えればコスト関数を評価することなどの予め定められた中止基準によって設立されるような）十分な回数の繰り返しの後、ステップS515にて、検討したスキャン位置での再構成断面暗視野が出力される。加えて、位相コントラスト画像も、更なる参照のために出力又は格納されてもよい。

#### 【0068】

理解されるように、上で規定したステップは、1つのスキャン位置に関する断面画像を生み出すものであり、ボリューム全体を取得するためには、上述のステップが異なるスキャン位置に関して反復される必要がある。

#### 【0069】

式（3）により、重み $w$ は、ここで想定されるような統計的な意味を必ずしも有していないくともよく、単に、総コスト に対するそれぞれのチャネルの相対的な優位性を定める

10

20

30

40

50

重みとしてモデル化の視点から選定されてもよい。

【0070】

しかし、時に統計的繰り返し再構成として参照される統計的アプローチが使用されるとき、重みは、測定の不確定性、すなわち、それぞれの検出器画素  $p \times$  での分散及び又は標準偏差を表すように選定され得る。統計的な重み  $w$  の形態は、測定に関する選択された統計モデルの関数である。特に、ポアソン分布を仮定し得る。そして、目的関数は、この統計的設定において、(負の)最大尤度関数として理解され得る。これは、例えば、T. Koehler 等の “Iterative reconstruction for differential phase contrast imaging”, pp. 4542 - 4545, Med. Phys. 38 (8), 2011年8月(例えれば、p. 4543 の左欄の式(3)を参照)に記載されるような、最大尤度(MLE)アプローチである。なお、この文献の全体をここに援用する。

【0071】

好適な一実施形態において、統計的であろうとなかろうと、基底関数に関するボクセル値の展開が使用される。この基底関数アプローチでは、各ボクセルが、複数の基底関数の線形結合(時々、2Dカイザー-ベッセル関数のファミリに関係する“プロブ”としても参考される)として考えられる。このアプローチの詳細については、T. Koehler 等の “Iterative reconstruction for differential phase contrast imaging”, pp. 4542 - 4545, Med. Phys. 38 (8), 2011年8月に見出すことができる。換言すれば、特定のボクセルにおける各値を、基底関数及び対応するスカラーから形成される重みの線形結合として考えることができる。その場合、繰り返し再構成は、それぞれの線形結合の最適なスカラー成分を見出すことの行使となる。これは、式(2)、(3)による導関数  $r$  の有限差分近似を使用する必要がないという利点を有する。基底関数アプローチでは、基底関数が解析的に微分可能に選択されるとき基底関数の導関数の投影を正確に計算することができるので、有限差分による近似を回避することができる。換言すれば、導関数を取ることは、有限差分による近似を用いるというよりも、予め定められた解析的表現を形成することを意味する。

【0072】

ここで、異なる一実施形態に話を変えるに、共通順モデルが、次式(又はこれと数学的に等価なもの)：

【0073】

【数4】

$$I_i = I_{0i} e^{-\int_{l_i} \mu(x) dx} \left[ 1 + V_{0i} e^{-\int_{l_i} \varepsilon(x) dx - \alpha |\partial_z^2 \int_{l_i} \delta(x) dx|} \cdot \cos\left(\varphi_{0i} + \partial_z \int_{l_i} \delta(x) dx\right) \right] \quad (4)$$

に従って設定される。ただし、

$I_i$  : 位相ステップ  $i$  でライン  $l_i$  に沿って物体中で測定された強度のモデル

$I_{0i}$  : ライン  $l_i$  に沿って物体なしで測定された強度

$V_{0i}$  : ライン  $l_i$  に沿った可視性

$\varphi_{0i}$  : ライン  $l_i$  に沿った当初位相

$\mu(x)$  : 物体の吸収

( $x$ ) : 物体の小角散乱

( $x$ ) : 物体の屈折率

$z$  : 回折格子に対して垂直な方向

$x$  : ライン  $l_i$  に沿った位置。

【0074】

この順モデルでは、記録された強度の、暗視野サイノグラム  $m$  及び位相コントラストサイノグラム  $m'$  への分離は必要ない。換言すれば、この実施形態によれば、位相ステッ

ピングにて検出器で記録されたそれぞれの時系列で各エントリーが構成される共通サイノグラム  $m$  によって、入力が形成される。

## 【0075】

式(4)による信号モデルは、式(2)に従って(2)中の左式及び右式に対応する2つのチャネル(位相及び暗視野)に特化した順モデルが存在する先の実施形態と比較して、共通サイノグラムに関する共通順モデルを形成する。共通順モデルはなおも、2つの信号に関するモデルコンポーネント、すなわち、位相信号に関するモデルコンポーネント：

## 【0076】

## 【数5】

$$\partial_z \int_{l_i} \delta(x) dx$$

10

と、暗視野に関するモデルコンポーネント：

## 【0077】

## 【数6】

$$e^{-\int_{l_i} \varepsilon(x) dx}$$

とを含んでいる。上の式(4)に単に見た目が似ただけの順モデルが、A. Ritter 等によって“Simultaneous maximum-likelihood reconstruction for x-ray grating based phase-contrast tomography avoiding intermediate phase retrieval”(p. 2の式(3)を参照)にて報告されている。しかしながら、Ritter等の文献とは決定的且つ非常に大きく異なり、上記の順モデルは、先の実施形態の式(4)においてのように、

20

## 【0078】

## 【数7】

$$\alpha | \partial_z^2 \int_{l_i} \delta(x) dx | \quad (5)$$

の通り、位相信号から暗視野信号へのクロストークを捕捉するモデルコンポーネントを含んでいる。

30

## 【0079】

暗視野信号に関するモデルコンポーネントが、式(4)に従って、式(5)のクロストークコンポーネントと結合される。先の実施形態(2)によるシステム行列アプローチに話を戻すに、共通モデルの信号モデル(4)との構造的な類似性を引き出すことが有益であり得る。Aの行(又は表現に応じて列)は、(中間的な)位相信号モデルコンポーネント：

## 【0080】

## 【数8】

$$\int_{l_i} \delta(x) dx$$

40

の数値的な離散化に対応する。

## 【0081】

そして、この非線形順モデルに関するコスト関数は、次式(又はこれと数学的に等価なもの)：

## 【0082】

## 【数9】

$$\Delta(\mu, \varepsilon, \delta) = \sum_i w_i (I_i(\mu, \varepsilon, \delta) - m_i)^2 + \beta R(\mu, \varepsilon, \delta) \quad (6)$$

50

により、上の式(4)と同様に策定され得る。ここで、 $w_i$ は、強度測定に関して見積もられる（例えば、測定信号がポアソン分布に従うとの仮定から導出される）重み係数であり、 $m_i$ は、位相ステップ*i*につき測定される強度（又は検出器タイプに応じてフォトンカウント）である。

#### 【0083】

換言すれば、この実施形態では、ステップS505にて、2つの特化されたサイノグラムの代わりに、それぞれの投影方向に関するそれぞれの強度系列を有する共通サイノグラムが受け取られる。

#### 【0084】

残りのステップS510及びS515は、先に説明した実施形態と同様であり、コスト関数は、やはり残差に関して策定されるが、今回は、共通順モデル並びに信号解析部SAによる前処理なしの記録されたままの強度 $m_i$ に対して策定される。式(2)による専用順モデルを持つ先の実施形態の式(3)においてのように、式(6)は、最適化問題、特に、最小にするもの( $\mu$ ,  $\lambda$ )を発見することに関する最適化問題を規定する。そして、この最適化問題の解が、特に、暗視野画像を生み出す。

#### 【0085】

コスト関数(6)に関する好適な反復的数値最適化（例えば、共役勾配法又は上述したその他）を用いることで、更新関数に到達し得る。この更新関数は、特に暗視野画像問題に関する（しかしながら、その他の2つの画像 $\mu$ 、 $\lambda$ も概して暗視野画像と一緒に解かれるので、 $\mu$ 及び $\lambda$ にも関する）繰り返し再構成アルゴリズムを規定する。

#### 【0086】

先の実施形態(3)においてと同様に、例えばMLなどの統計的アプローチを選択してもよい。特に、測定データに関して言えばポアソン又はガウシアンといった基本的な統計分布を仮定した統計的な重みとして、 $w_i$ を選定することができる。

#### 【0087】

式(6)でのコスト関数は、特定のスキャン位置及びピクセル位置に関して策定されており、インデックス*i*は、複数の異なる位相ステップ*i*にわたる該ピクセルに関する複数の異なる強度測定に広がる。対応する最適化問題は、関心ボリューム全体をカバーするように関心ある全てのスキャン位置に関して解かれる必要がある。

#### 【0088】

順モデルに関する2つの実施形態(2)、(4)の何れかにて、正則化又はペナルティ付けの項Rは、例えば解の滑らかさなどの特定の所望の性質を強いるために使用され得る。例えば、一実施形態において、チホノフ(Tikhonov)の正則化を行うものが使用されるが、ここではその他の正則化を行うRも想定される。実施形態において、正則化項の応答を調節するための係数 $\alpha$ が存在する。

#### 【0089】

この第2の実施形態においてもやはり、第1の実施形態に関して先述したように、提案する方法の正確性を向上させるために、有限差分によって導関数を近似しなければならないのではなく導関数を解析的に表現するよう、基底関数が使用され得る。

#### 【0090】

理解されるように、双方の実施形態において、順投影演算子は非線形である。しかしながら、順投影が線形であるような他の実施形態も想定され得る。

#### 【0091】

ここで、ビームジオメトリに話を戻すに、上述の実施形態の一部において、ビームジオメトリが平行であることが仮定されている。例えばコーンビーム又はファンビームなどの発散ジオメトリでは、例えば本出願人の国際公開第2013/171657号に記載されているように、補正が適用される。この補正是順モデルに適用される。位相信号及び暗視野信号にそれぞれ特化した順モデルを用いる実施形態(2)では、好適な一実施形態において、暗視野信号に特化した順モデル（すなわち、(2)中の右式）のみに発散ビームジオメトリ補正を適用することが想定され、当然ながら、この追加のモデル化には、系の拡張

10

20

30

40

50

大に対する暗視野信号の特別な依存性が関与する。例えば、上で引用した国際公開第2013/171657号中の式(7)による補正項  $d = a / M$  を参照されたい。当然ながら、平行ビームから発散ビームに移すときのジオメトリにおけるこの単なる幾何学的变化はなおも、対応する線積分の数値実行をシステム行列Aの行が依然として提供するように、双方の信号に関する順モデル策定において考慮に入れられる必要がある。他の実施形態において、この補正是、特化したモデルの双方に適用されてもよい。

#### 【0092】

共通順モデルに関しては、発散ビームジオメトリに合わせて、以下の変更：

#### 【0093】

#### 【数10】

10

$$I_i = I_{0i} e^{-\int_{l_i} \mu(x) dx} \left[ 1 + V_{0i} e^{-\int_{l_i} \frac{x}{L} \varepsilon(x) dx - \alpha |\partial_z \int_{l_i} \delta(x) dx|} \cdot \cos\left(\varphi_{0i} + \partial_z \int_{l_i} \delta(x) dx\right) \right] \quad (7)$$

が適用され得る。

#### 【0094】

(6)によるモデル化アプローチにおいて、(平行ビームジオメトリを仮定する)実施形態(5)に対する唯一の違いは、暗視野信号に関するモデル化コンポーネントに更なる重み係数  $x / L$  が含まれることである。これは散乱のためであり、 $L$  (図1に  $d$  として示される)は、ソースから位相回折格子までの距離である。なお、この重み付けは、通常の線積分の対称性を“破り”、故に、積分は、線積分の値が積分方向とは無関係である伝統的な線積分とは対照的に、ソースから検出器まで(又はその逆に、検出器からソースまででもよく、その場合、重み付けは  $(L - x) / L$  として取られる)ライン  $l_i$  に沿って行われる必要がある。

20

#### 【0095】

再構成部 RECON は、撮像システム用のオペレータコンソール(図示せず)として、又は画像レビュー用のワークステーションとして機能する汎用コンピュータ上で実行され得る。他の一実施形態において、再構成部は、専用モジュールとして、特に、例えば FPGAGA チップといった専用プログラマブルチップとして構成され、あるいは配線接続されたチップとして実装され得る。

30

#### 【0096】

本発明の他の例示的な一実施形態において、以上の実施形態のうちの1つに従った方法の方法ステップ群を適当なシステム上で実行するように適応されることによって特徴付けられた、コンピュータプログラム又はコンピュータプログラム要素が提供される。

#### 【0097】

コンピュータプログラム要素は、故に、これまた本発明の一実施形態の一部とし得るコンピュータユニットに格納され得る。このコンピューティングユニットは、上述の方法のステップ群を実行するように、又はその実行を起こすように適応され得る。また、それは、上述の装置のコンポーネント群を動作させるように適応されてもよい。コンピューティングユニットは、自動的に動作するように適応され、且つ/或いはユーザの指令を実行するように適応され得る。コンピュータプログラムは、データプロセッサの作業メモリにコードされ得る。故に、データプロセッサは、本発明の方法を実行するように装備され得る。

40

#### 【0098】

本発明のこの例示的な実施形態は、最初から本発明を使用するコンピュータプログラムと、アップデートによって、既存のプログラムを、本発明を使用するプログラムへと変化させるコンピュータプログラムとの双方に及ぶ。

#### 【0099】

さらに、コンピュータプログラム要素は、上述の方法の例示的実施形態の手順を果たす

50

のに必要な全てのステップを提供することができてもよい。

【0100】

本発明の例示的な更なる一実施形態によれば、例えばC D - R O Mなどのコンピュータ読み取り可能媒体が提供され、該コンピュータ読み取り可能媒体は、先行するセクションで述べたコンピュータプログラム要素を格納して有する。

【0101】

コンピュータプログラムは、他のハードウェアとともに供給されるか、他のハードウェアの一部として供給されるかする例えば光記憶媒体又は半導体媒体などの好適な媒体にて格納及び／又は配布され得るが、例えばインターネット又はその他の有線若しくは無線の遠隔通信システムを介してなど、その他の形態で配布されてもよい。

10

【0102】

しかしながら、コンピュータプログラムはまた、ワールドワイドウェブのようなネットワーク上で提示されてもよく、また、そのようなネットワークからデータプロセッサの作業メモリにダウンロードされることができる。本発明の例示的な更なる一実施形態によれば、本発明の上述の実施形態のうちの1つに従った方法を実行するように構成されたコンピュータプログラム要素をダウンロードに利用可能にする媒体が提供される。

【0103】

なお、様々な主題を参照して本発明の実施形態を説明した。特に、一部の実施形態は方法タイプのクレームを参照して説明し、他の実施形態は装置タイプのクレームを参照して説明した。しかしながら、当業者は、上述及び以下の記載から、別のごことが告知されていない限り、1つのタイプの主題に属する特徴の組合せだけでなく、相異なる主題に関する特徴間の組み合わせも、本願で開示されていると見なされることを認識するであろう。しかしながら、何れの特徴も、組み合わされて、それらの特徴の単純な和を超える相乗効果をもたらし得る。

20

【0104】

図面及び以上の記載にて本発明を詳細に図示して説明してきたが、これらの図示及び説明は、限定的なものではなく、例示的あるいは典型的なものとみなされるべきである。本発明は、開示の実施形態に限定されるものではない。開示の実施形態へのその他の変形が、図面、本開示及び添付の請求項の検討から、請求項に係る発明を実施する当業者によって理解されて実現され得る。

30

【0105】

請求項において、用語“有する”は他の要素又はステップを排除するものではなく、不定冠詞“a”又は“a n”は複数であることを排除するものではない。単一のプロセッサ又は他のユニットが、請求項に記載される複数のアイテムの機能を果たしてもよい。特定の複数の手段が相互に異なる従属項に記載されているという单なる事実は、それらの手段の組合せが有利に使用され得ないということを指し示すものではない。請求項中の如何なる参照符号も、範囲を限定するものとして解されるべきでない。

【図1】

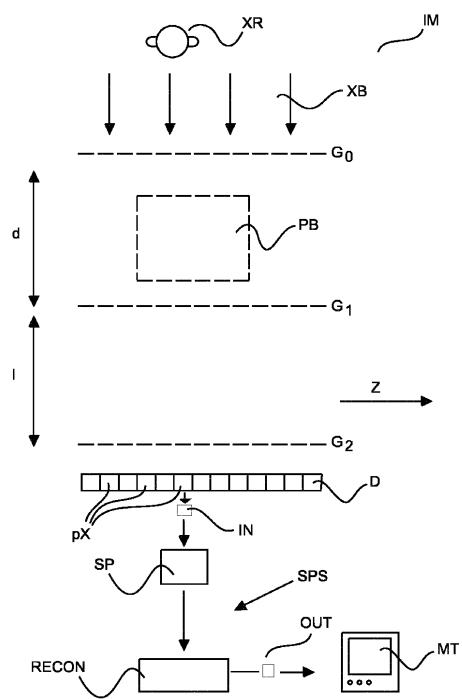


Fig.1

【図2】

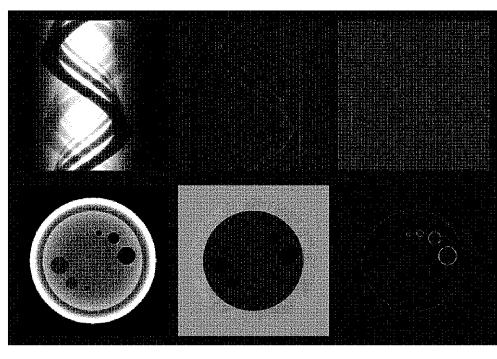


Fig.2

【図3】

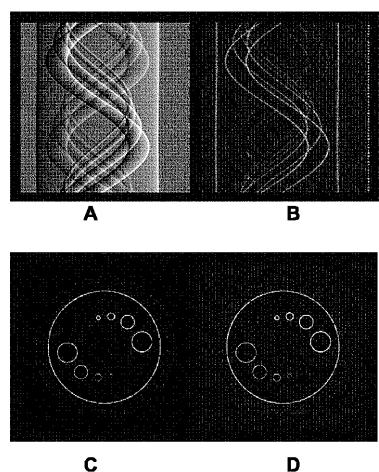


Fig.3

【図4】

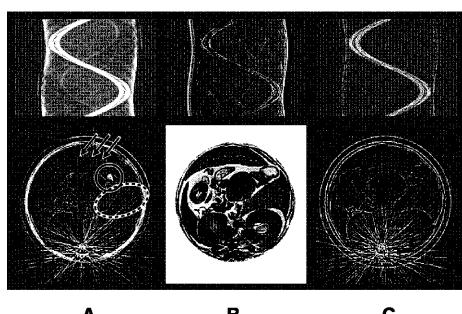
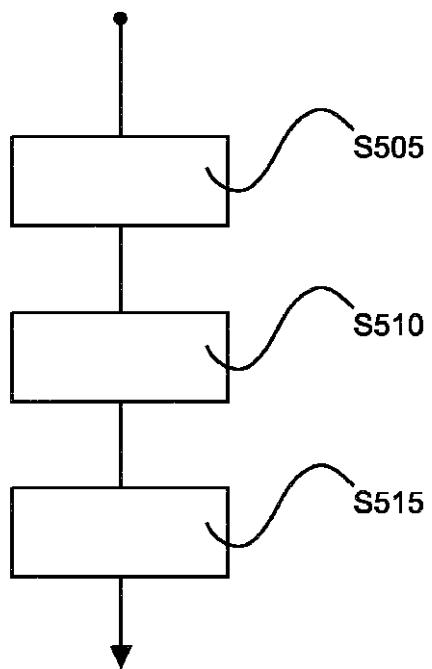


Fig.4

【図5】

**Fig.5**

---

フロントページの続き

(74)代理人 100091214

弁理士 大貫 進介

(72)発明者 ケーラー, トマス

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 5

(72)発明者 ブレンデル, ベルンハルト ヨハンネス

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 5

審査官 佐藤 仁美

(56)参考文献 特開2014-140632(JP, A)

特開2014-117485(JP, A)

国際公開第2013/171657(WO, A1)

米国特許出願公開第2014/0169524(US, A1)

国際公開第2013/187150(WO, A1)

国際公開第2012/128335(WO, A1)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

A61B 6/00 - 6/14

G21K 1/00 - 3/00, 5/00 - 7/00

G01N 23/00 - 23/2276