

(19) 日本国特許庁 (JP)

(12) 特 許 公 報 (B2)

(11) 特許番号

特許第6139091号
(P6139091)

(45) 発行日 平成29年5月31日 (2017.5.31)

(24) 登録日 平成29年5月12日 (2017.5.12)

(51) Int. Cl.

F I

A 6 1 B 6/03 (2006.01)

A 6 1 B 6/03 3 5 O R

A 6 1 B 6/03 3 5 O W

請求項の数 13 (全 17 頁)

(21) 出願番号	特願2012-227969 (P2012-227969)	(73) 特許権者	594164542
(22) 出願日	平成24年10月15日 (2012.10.15)		東芝メディカルシステムズ株式会社
(65) 公開番号	特開2013-85956 (P2013-85956A)		栃木県大田原市下石上1385番地
(43) 公開日	平成25年5月13日 (2013.5.13)	(74) 代理人	100108855
審査請求日	平成27年10月15日 (2015.10.15)		弁理士 蔵田 昌俊
(31) 優先権主張番号	13/275,814	(74) 代理人	100109830
(32) 優先日	平成23年10月18日 (2011.10.18)		弁理士 福原 淑弘
(33) 優先権主張国	米国 (US)	(74) 代理人	100088683
			弁理士 中村 誠
		(74) 代理人	100103034
			弁理士 野河 信久
		(74) 代理人	100075672
			弁理士 峰 隆司
		(74) 代理人	100153051
			弁理士 河野 直樹

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 X線コンピュータ断層撮像装置 (X線CT装置) 及びX線コンピュータ断層撮像装置の作動方法

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

コーン形状のX線を曝射するX線管と、複数の検出素子からなる検出素子列が列方向に複数配列された検出器と、を用いてヘリカルスキャンを実行することにより、実測データを取得する撮像ユニットと、

所定の検出素子列近傍での減少されたサンプリングピッチを用いて補間データを得るために、前記列方向に前記実測データをサンプリングするサンプリングユニットと、

前記実測データ及び前記補間データのそれぞれに関する重み係数を決定する決定ユニットと、

前記重み係数、前記実測データ、前記補間データを用いた画像再構成を実行することで、再構成画像を生成する再構成ユニットと、

を具備し、

前記サンプリングユニットは、適応サンプリング要素を用いて前記補間データを生成する

X線コンピュータ断層撮像装置。

【請求項 2】

前記サンプリングは、適応数のビューで実行される請求項1記載のX線コンピュータ断層撮像装置。

【請求項 3】

コーン形状のX線を曝射するX線管と、複数の検出素子からなる検出素子列が列方向に

10

20

複数配列された検出器と、を用いてヘリカルスキャンを実行することにより、実測データを取得する撮像ユニットと、

所定の検出素子列近傍での減少されたサンプリングピッチを用いて補間データを得るために、前記列方向に前記実測データをサンプリングするサンプリングユニットと、

前記実測データ及び前記補間データのそれぞれに関する重み係数を決定する決定ユニットと、

前記重み係数、前記実測データ、前記補間データを用いた画像再構成を実行することで、再構成画像を生成する再構成ユニットと、

を具備し、

前記サンプリングは、適応数のビューで実行される

X線コンピュータ断層撮像装置。

10

【請求項 4】

前記再構成ユニットは、前記ヘリカルスキャンにおける 1 回転から 2 回転の間において取得された前記実測データに対し、前記重み係数を用いて前記画像再構成を実行する請求項 1 乃至 3 のうちいずれか一項記載の X 線コンピュータ断層撮像装置。

【請求項 5】

前記サンプリングユニットは、適応サンプリング要素を用いて前記補間データを生成する請求項 3 又は 4 記載の X 線コンピュータ断層撮像装置。

【請求項 6】

前記適応サンプリング要素は、ビュー位置に基づいて決定される請求項 1、2 及び 5 のうちいずれか一項記載の X 線コンピュータ断層撮像装置。

20

【請求項 7】

前記再構成ユニットは、処理されるべきセグメントの数を実質的に一定として、前記画像再構成を実行する請求項 6 記載の X 線コンピュータ断層撮像装置。

【請求項 8】

前記適応サンプリング要素を U とした場合、前記 U は、

【数 8】

$$U' = \left(\frac{(Tseg_{MIN} - 2)}{|\Delta view|} \times \frac{ViewRev}{HP} \right)$$

30

ただし、view：中心ビューからの距離、Tseg_{MIN}：追加するべき全セグメントの最小数、ViewRev：1 回転あたりのビューの数、HP：ヘリカルピッチによって決定される請求項 6 記載の X 線コンピュータ断層撮像装置。

【請求項 9】

前記適応数のビューを Uview とした場合、前記 Uview は、

【数 9】

$$Uview = 2 \times \text{ceil} \left((Tseg_{MIN} - 2) \frac{ViewRev}{HP} \right)$$

40

ただし、ceil：所定の関数、Tseg_{MIN}：追加するべき全セグメントの最小数、ViewRev：1 回転あたりのビューの数、HP：ヘリカルピッチによって決定する請求項 2 又は 3 記載の X 線コンピュータ断層撮像装置。

【請求項 10】

前記決定ユニットは、所定のコーンビーム重み付け関数に基づいて前記重み係数を決定する請求項 1 乃至 9 のうちいずれか一項記載の X 線コンピュータ断層撮像装置。

【請求項 11】

50

前記所定のコーンビーム重み付け関数を W_{CBW} とした場合、前記 W_{CBW} は、
【数 10】

$$W_{CBW}(\beta, \gamma, v) = \frac{u_{CBW}(\beta, \gamma, v)}{\sum_{n=-N}^{n=N} u_{CBW}(\beta_n^C(\beta, \gamma), \gamma_n^C(\gamma), v_n^C(\gamma, v))}$$

ただし、 β : それぞれファン角度
(β, v) : 垂直座標におけるビュー角および検出器座標
上付き添え字 C : 相補
によって決定される非線形関数である請求項 10 記載の X 線コンピュータ断層撮像装置

10

【請求項 12】

X 線コンピュータ断層撮像装置の作動方法であって、
コーン形状の X 線を曝射する X 線管と、複数の検出素子からなる検出素子列が列方向に複数配列された検出器と、を用いてヘリカルスキャンを実行することにより、実測データを取得させ、
サンプリングユニットにより、適応サンプリング要素及び所定の検出素子列近傍での減少されたサンプリングピッチを用いて補間データを得るために、前記列方向に前記実測データをサンプリングさせ、
決定ユニットにより、前記実測データ及び前記補間データのそれぞれに関する重み係数を決定させ、

20

再構成ユニットにより、前記重み係数、前記実測データ、前記補間データを用いた画像再構成を実行することで、再構成画像を生成させること、
を具備する X 線コンピュータ断層撮像装置の作動方法。

【請求項 13】

X 線コンピュータ断層撮像装置の作動方法であって、
コーン形状の X 線を曝射する X 線管と、複数の検出素子からなる検出素子列が列方向に複数配列された検出器と、を用いてヘリカルスキャンを実行することにより、実測データ
を取得させ、
サンプリングユニットにより、所定の検出素子列近傍での減少されたサンプリングピッチを用いて補間データを得るために、適応数のビューで前記列方向に前記実測データをブ
サンプリングさせ、
決定ユニットにより、前記実測データ及び前記補間データのそれぞれに関する重み係数
を決定させ、

30

再構成ユニットにより、前記重み係数、前記実測データ、前記補間データを用いた画像再構成を実行することで、再構成画像を生成させること、
を具備する X 線コンピュータ断層撮像装置の作動方法。

40

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

一般に画像処理およびシステムに関し、より詳細には、ヘリカルコーンビームコンピュータ断層撮影 (CT) におけるストリークアーチファクトの大幅な軽減に関する。

【背景技術】

【0002】

冗長データの重み付けは、コンピュータ断層撮影 (CT) においてヘリカルコーンビームデータから画像を再構成する重要なステップの 1 つである。この重み付けは、再構成の精度、モーションアーチファクトのサセプタビリティ、およびノイズを含む種々の面に影

50

響を及ぼす。従来技術では、コーンビーム重み付け（C B W : cone beam weighting）は、コーンビームアーチファクトを軽減し、検出器の利用率を向上させ、画像ノイズを軽減するために、広いコーン角を持つヘリカルC Tで用いられる。従来技術の手法では、通常、ビュー範囲が1回転より小さい1 - P I再構成の場合を考えている。しかし、臨床現場において最も有用なヘリカルC Tは、各スライスに対して1回転と2回転の間の再構成ビュー範囲を用いる。

【0003】

u C B WなどのC B W重み付け関数は、いくつかの方法で実施することができる。一般に、実装形態を問わず、ストリークアーチファクトは、回転が1回以上のときに画像面付近のZ位置でのC B W関数の特異点によって引き起こされる。具体的には、画像面が検出器列のごく一部に投影するとき、非線形のu C B Wは、すべての画像ピクセルに対して正確に決定できるわけではない。言い換えれば、重み付け関数は、一般に検出器のサイズより小さくなる。したがって、C B W重み付けの誤差はストリークアーチファクトとして現れる。

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0004】

従来技術の上記およびその他の問題を考慮すると、望ましいストリークアーチファクト軽減技法は、ヘリカルコーンビームC Tの画質を向上させるために今もなお求められている。目的は、新たなストリークアーチファクト軽減技法を実現するX線コンピュータ断層撮像装置及びX線コンピュータ断層撮像装置の作動方法を提供することである。

【課題を解決するための手段】

【0005】

本実施形態に係るX線コンピュータ断層撮像装置は、コーン形状のX線を曝射するX線管と、複数の検出素子からなる検出素子列が列方向に複数配列された検出器と、を用いてヘリカルスキャンを実行することにより、実測データを取得する撮像ユニットと、所定の検出素子列近傍での減少されたサンプリングピッチを用いて補間データを得るために、前記列方向に前記実測データをサンプリングするサンプリングユニットと、前記実測データ及び前記補間データのそれぞれに関する重み係数を決定する決定ユニットと、前記重み係数、前記実測データ、前記補間データを用いた画像再構成を実行することで、再構成画像を生成する再構成ユニットと、を具備し、前記サンプリングユニットは、適応サンプリング要素を用いて前記補間データを生成するものである。

【図面の簡単な説明】

【0006】

【図1】図1は、本実施形態による、ストリークアーチファクトを大幅に軽減するためのマルチスライスX線C T装置またはスキャナの一実施形態を示す図。

【図2】図2は、本実施形態によってストリークアーチファクトを大幅に軽減する理由の一態様を示す図。

【図3】図3（a）、（b）、（c）は、マルチスライスX線C T装置の一実施形態におけるセグメントと1つの重み付け関数との関係を示す図。

【図4】図4は、本実施形態によってストリークアーチファクトを大幅に軽減するための特定の解決策を示す図。

【図5A】図5Aは、本実施形態におけるストリークアーチファクト軽減処理に関与する、全般的だが中核をなすステップを示す流れ図。

【図5B】図5Bは、本実施形態におけるストリークアーチファクト軽減処理でアップサンプリングするための選定ステップを示す流れ図。

【図5C】図5Cは、本実施形態による1つの例示的なストリークアーチファクト軽減処理に関与する全体的なステップを示す流れ図。

【図5D】図5Dは、本実施形態による別の例示的なストリークアーチファクト軽減処理に関与する全体的なステップを示す流れ図。

【図 6】図 6 (a) ~ (d) は、本実施形態によってストリークアーチファクトを大幅に軽減するためのアップサンプリングの特定の態様を示す図。

【図 7 A】図 7 A は、本実施形態による一比較例における大幅なストリークアーチファクト軽減の効果を示す図。

【図 7 B】図 7 B は、本実施形態による一比較例における大幅なストリークアーチファクト軽減の効果を示す図。

【図 8 A】図 8 A は、本実施形態による別の比較例における大幅なストリークアーチファクト軽減の効果を示す図。

【図 8 B】図 8 B は、本実施形態による別の比較例における大幅なストリークアーチファクト軽減の効果を示す図。

10

【発明を実施するための形態】

【 0 0 0 7 】

ここで図面を参照すると、同じ参照番号はすべての図面を通して対応する構造を示すが、特に図 1 を参照すると、図は、ガントリ 1 0 0 と他のデバイスまたはユニットとを含む、本実施形態によるマルチスライス X 線 C T 装置またはスキャナの一実施形態を示す。ガントリ 1 0 0 は、側面図にて示されており、X 線管 1 0 1 と、環状フレーム 1 0 2 と、多列または 2 次元配列型の X 線検出器 1 0 3 とをさらに含む。X 線管 1 0 1 および X 線検出器 1 0 3 は、環状フレーム 1 0 2 上の被検体 (subject) S を横切る対角線に取り付けられ、環状フレーム 1 0 2 は、回転軸 R A のまわりに回転可能に支持される。回転ユニット 1 0 7 が、フレーム 1 0 2 を 0 . 4 秒 / 回転などの高速で回転させ、その間、被検体 S は、軸 R A に沿って、図示の紙面に対する奥行き方向または手前方向に移動される。

20

【 0 0 0 8 】

マルチスライス X 線 C T 装置は、X 線管 1 0 1 が X 線を生成するようにスリップリング 1 0 8 を介して X 線管 1 0 1 に印加されるべき管電圧を生成する高電圧発生装置 1 0 9 をさらに含む。X 線は被検体 S に向かって照射され、被検体 S の断面積は円によって表されている。X 線検出器 1 0 3 は、被検体 S を透過した照射された X 線を検出するために、被検体 S を挟んで X 線管 1 0 1 の反対側にある。

【 0 0 0 9 】

さらに図 1 を参照すると、X 線 C T 装置またはスキャナは、X 線検出器 1 0 3 からの検出信号を処理するための他のデバイスをさらに含む。データ収集回路またはデータ収集システム (D A S) 1 0 4 は、各チャンネルに対して X 線検出器 1 0 3 から出力された信号を電圧信号に変換し、それを増幅して、さらにデジタル信号に変換する。X 線検出器 1 0 3 および D A S 1 0 4 は、1 回転あたりの所定の全投影数 (T P P R : total number of projections per rotation) を、最大で 9 0 0 T P P R、9 0 0 T P P R から 1 8 0 0 T P P R の間、および 9 0 0 T P P R から 3 6 0 0 T P P R の間となるよう対処するように構成される。

30

【 0 0 1 0 】

上述のデータは、非接触データ伝送装置 1 0 5 を通して、ガントリ 1 0 0 の外部のコンソールに収容された前処理デバイス 1 0 6 に送られる。前処理デバイス 1 0 6 は、生データに対して感度補正などの特定の補正を実行する。次に、その結果として生成されるデータ (投影データとも呼ばれるデータ) を、記憶デバイス 1 1 2 が再構成処理の直前の段階で記憶する。記憶デバイス 1 1 2 は、データ / 制御バスを介して、再構成デバイス 1 1 4、入力デバイス 1 1 5、表示デバイス 1 1 6、マルチスケール処理デバイス 1 1 7、およびスキャンプラン支援装置 2 0 0 と共に、システムコントローラ 1 1 0 に接続される。スキャンプラン支援装置 2 0 0 は、撮像技師がスキャンプランを策定するのを支援するための機能を含む。

40

【 0 0 1 1 】

再構成デバイス 1 1 4 の一実施形態は、種々のソフトウェア構成要素とハードウェア構成要素とをさらに含み、投影データに対する所定の解析再構成処理を実行する。本実施形態によれば、C T 装置の再構成デバイス 1 1 4 は、有利には、所定のフィルタ補正逆投影

50

(FBP)法を用いて画像ボリュームを再構成する。上述およびその他の実施形態は、任意選択で、添付の特許請求の範囲により詳細に記載されている範囲に含まれる。

【0012】

本実施形態の別の態様によれば、CT装置の再構成デバイス114は、有利には、逐次近似再構成法を用いて全変動(TV)を最小化する。一般に、本実施形態の再構成デバイス114は、全変動逐次近似再構成(TVIR)アルゴリズムを実施する。TVIRアルゴリズムは、投影データに対して、オーダードサブセット同時代数的再構成法(OS-SART)ステップなどの同時代的代数的再構成法と、TV最小化ステップなどの調整とを実行する。一実施形態では、この2つのステップは、反復数があらかじめ設定されているメインループにおいて連続して実施される。

10

【0013】

TV最小化ステップの前に、投影データは、オーダードサブセット同時代数的再構成法(OS-SART)に供される。投影データは、それぞれ特定数のビューを有する所定数のサブセットNにグループ化される。一実施形態では、オーダードサブセット同時代数的再構成法(OS-SART)の実施中に、各サブセットが連続して処理されてもよい。別の実施形態では、複数のサブセットは、複数の中央処理装置(CPU)または1つのグラフィック処理装置(GPU)などの特定のマイクロプロセッサを利用して並列に処理されてもよい。全変動(TV)最小化ステップにおいて、再構成デバイス114の一実施形態では、現在の画像ボリュームの目的関数が前の画像ボリュームの目的関数より小さくなるように正のステップ幅(step size)を探索するために直線探索方式を用いる。

20

【0014】

再構成デバイス114はまた、オーダードサブセット同時代数的再構成法(OS-SART)の実施中に、2つの主要な動作を実行する。すなわち、再構成デバイス114は、各サブセットNに対して、計算上の投影データを生成するために画像ボリュームを再投影し、更新画像ボリュームを再構成するために、実測の投影データと計算上の投影データとの正規化された差分を逆投影する。さらに詳細には、再構成デバイス114の一実施形態では、システムマトリックスの係数がキャッシュされないレイトレーシング法を用いることによって、画像ボリュームを再投影する。さらに、再構成デバイス114の一実施形態では、サブセット内のすべてのレイを同時に再投影し、この処理は任意選択で並列に実施される。逆投影において、再構成デバイス114の一実施形態では、所望の更新画像ボリュームを生成する目的でサブセット内のすべての正規化された差分投影データを逆投影するためにピクセルドリブン(pixel-driven)法を用いる。再構成デバイス114が、画像ボリュームを生成するためにサブセット内のすべてのレイサム(すなわち差分投影データ)を逆投影するので、この動作も任意選択で並列に実施される。これらの動作は、単一のOS-SARTステップを完了するために、すべてのサブセットNに適用される。さらに、AWADは任意選択で組み合わせられる。

30

【0015】

本実施形態は、上述の構成要素に加えて、ストリークアーチファクト軽減を実行するための種々の他のソフトウェアモジュールとハードウェア構成要素とをさらに含む。本実施形態によれば、CT装置のストリークアーチファクト軽減デバイス117は、有利には、特定の状況下でストリークアーチファクトを大幅に軽減するためのストリークアーチファクト軽減機能を実行する。つまり、所定のCBW関数などの重み付け関数は、一般に、らせん状の線源軌道上で収集される特定のコーンビームデータ検出器のサイズより小さくなる。したがって、CBW重み付けの誤差はストリークアーチファクトとして現れる。この問題については、本願の他の図を参照してさらに説明する。

40

【0016】

本実施形態の別の態様によれば、ストリークアーチファクト軽減デバイス117の一実施形態は、仮想列(hypothetical row)のデータ値を追加するために実測データをアップサンプリングすることによって所望の効果を達成する。本願で用いられる「アップサンプリング」という用語は、当技術分野ではよく知られており、実測データからの追加データ

50

を追加するための補間を含む。言い換えれば、実施形態では、数値的に追加された (numerically added) データ点に基づいてサンプリング密度レベルを上げるために実測データをアップサンプリングする。アップサンプリングデータを追加するため、ストリークアーチファクト軽減デバイス 117 はさらに、そのアップサンプリング効果の程度を決定する。たとえば、ストリークアーチファクト軽減デバイス 117 は、アップサンプリングが行われるビューの数と、いくつかの追加データ点を追加するためのアップサンプリングの幅を限定する要素とを決定する。

【0017】

本実施形態では、ストリークアーチファクト軽減デバイス 117 は、他のソフトウェアモジュールおよび/または記憶デバイス 112、再構成デバイス 114、表示デバイス 116、および入力デバイス 115 などのシステム構成要素にデータ/制御バスを介して動作的に接続される。この点に関して、本実施形態の他の態様では、ストリークアーチファクト軽減デバイス 117 単独では、必ずしもストリークアーチファクト機能および/またはそれに関連するタスクを実行しない。そのうえ、本実施形態による代替実施形態では、ストリークアーチファクト軽減デバイス 117 は、任意選択で再構成デバイス 114 などの他のデバイスの一部である。

【0018】

図 2 は、本実施形態によってストリークアーチファクトを大幅に軽減する理由の一態様を示す図である。この図は、心臓などの細い対象 O が、所定のらせん状の軌道上にある線源 S に対して相対的な位置にある例示の状況を示す。この例示の状況は、線源位置 S が対象 O の画像スライス I S の近傍にあることも示す。画像面は、単一の検出器列すなわちセグメント seg 0 のごく一部に投影する。撮像視野 (FOV) は対象 O の画像 I を単一セグメント seg 0 上に投影するが、所定の逆投影 (BPJ) 法では、中央のセグメント seg 0 とそれに隣接するセグメント seg + 1 および seg - 1 とを含む合計 3 つの BPJ セグメントの再構成が必要となる。例示の状況では、所定のコーンビーム重み付け (CBW) 関数などの冗長な重み付けは、隣接するセグメント seg + 1 および seg - 1 では不安定になる。一般に、不安定性は、CBW 関数の強い非線形性によって引き起こされる。

【0019】

次に図 3 (a) と、図 3 (b) と、図 3 (c) とを参照すると、これらの図は、マルチスライス X 線 CT 装置の一実施形態におけるセグメントとある重み付け関数の関係を示す。図 3 (a) は、y 軸がセグメントを表し、x 軸がチャンネルまたはピクセルを表すグラフである。図 3 (b) は、y 軸に所定の CBW 関数の重みを、x 軸にセグメントを表すグラフである。図 3 (b) に示すように、セグメント値が 79.6 から 79.66 の間にあるとき、所定のチャンネル (ch = 1) に沿った線プロファイル (line profile) に対する CBW 値は大きく変化する。同様に、図 3 (c) は、y 軸に所定の CBW 関数の重みを、x 軸にセグメントを表すグラフである。図 3 (c) に示すように、セグメント値が 79.6 から 79.66 の間にあるとき、所定のチャンネル (ch = 448) に沿った線プロファイルに対する CBW 値は大きく変化する。狭い範囲のセグメントに対して CBW 関数が強い非線形性を示すために、CBW 関数は、図 3 (a) に示すように、すべての画像ピクセル値に正確に重みを付けることはできない。

【0020】

図 4 は、本実施形態によってストリークアーチファクトを大幅に軽減するための特定の概念的解決策を示す図である。図 2 に関してすでに説明したように、例示の状況は、所定のらせん状の軌道上の線源 S に対して相対的な位置にある心臓などの細い対象 O を含む。この例示の状況は、線源位置 S が対象 O の画像スライス I S の近傍にあることも示す。画像面は、単一の検出器列すなわちセグメント seg 0 のごく一部に投影する。撮像視野 (FOV) は対象 O の画像 I を単一セグメント seg 0 上に投影するが、所定の逆投影 (BPJ) 法では、中央のセグメント seg 0 とそれに隣接するセグメント seg + 1 および seg - 1 とを含む合計 3 つの BPJ セグメントの再構成が必要となる。例示の状況では

、所定のコーンビーム重み付け (C B W) 関数の使用などの冗長な重み付けは、隣接するセグメント $s e g + 1$ および $s e g - 1$ では不安定になる。図 3 (a)、図 3 (b)、および図 3 (c) に関して説明したように、一般に、不安定性は、C B W 関数の強い非線形性によって引き起こされる。したがって、C B W 重み付けの誤差はストリークアーチファクトとして現れる。

【 0 0 2 1 】

さらに図 4 を参照すると、本実施形態では、ストリークアーチファクトを大幅に軽減するための 1 つの例示的な解決策は、アップサンプリングを伴う。本実施形態では、アップサンプリングは、任意選択で、上述の画像の Z 位置の近傍に適用される。つまり、アップサンプリング動作によって新たに生成されたデータ点は、セグメント $s e g 0$ の画像 I の周囲の近くにある点 $s e g + 1$ ' および $s e g - 1$ ' の近傍にのみ追加される。F O V は再構成中に引き続き 3 つのセグメントを必要とするが、C B W などの所定の関数による重みは、追加でアップサンプリングされたデータ点によりすべてのセグメントに対して十分に定義される。アップサンプリング動作の詳細については、本願の以下の流れ図と他の図とを参照してさらに説明する。

【 0 0 2 2 】

図 5 A は、本実施形態におけるストリークアーチファクト軽減処理に關与する全般的なステップを示す流れ図である。ストリークアーチファクトを大幅に軽減する例示の処理では、実測データは、特定のコーンビーム角を用いて所定のらせん状のデータ収集技法によって収集されたと仮定する。ステップ S 1 0 0 では、実測データは、本実施形態によりストリークアーチファクトを大幅に軽減する例示の処理においてアップサンプリングされる。任意選択で、アップサンプリングステップ S 1 0 0 では、どのビューをアップサンプリングするかを決定する。そのうえ、アップサンプリングステップ S 1 0 0 では、任意選択で、どのくらいアップサンプリングするべきかも決定する。つまり、一例では、任意選択のアップサンプリングステップ S 1 0 0 において、既存の実測データから補間されるべき追加データの数を決定する。一実装形態では、「U f a c t o r」などのパラメータの値が補間特性を決定する。アップサンプリングステップ S 1 0 0 は、本実施形態による大幅なストリークアーチファクト軽減を行う目的で上記の動作パラメータ値を決定するためのいかなる特定の技法、式、または方法にも限定されない。

【 0 0 2 3 】

アップサンプリングステップ S 1 0 0 は、本実施形態によるストリークアーチファクト軽減処理の最適化に関する追加の決定を下す。たとえば、ビューの数は、本実施形態による例示のストリーク軽減処理が特定のレベルの向上した画質を達成するために不必要に大量のデータを有さないような最適化に関連する。一実装態様では、ビューの数は、実測データの一連の所定の基準または特性に基づいて決定される。アップサンプリングステップ S 1 0 0 の一態様によれば、アップサンプリングされるべきビューの数は、実測データセット全体に対して固定的に決定される。あるいは、上述のビューの数は、任意選択で、実測データの特定の所定の基準または特性により適応的な形で決定される。アップサンプリングステップ S 1 0 0 は、本実施形態による大幅なストリークアーチファクト軽減を行う目的で上述の動作方法を決定するためのいかなる特定の技法、式、または方法にも限定されない。

【 0 0 2 4 】

本実施形態におけるアップサンプリングステップ S 1 0 0 は、上述の動作パラメータを用いて、最初に実測されたデータに基づいて追加データを実際に生成する。追加データを生成する例示の一技法は、アップサンプリングでよく知られている 3 重線形補間 (trilinear interpolation) である。アップサンプリングステップ S 1 0 0 は、本実施形態による大幅なストリークアーチファクト軽減を行う目的で最初に実測されたデータに基づいてデータ値を追加または補間するためのいかなる特定の技法、式、または方法にも限定されない。

【 0 0 2 5 】

アップサンプリングステップ S 1 0 0 の後、次にステップ 1 1 0 が、C B W などの所定の重み付け関数に従って、上述のアップサンプリング動作の結果として得られた実測ヘリカルコーンビームデータおよび補間データを含むこの時点で使用可能なデータに対応する冗長な重みを決定する。この重みは、本実施形態による 1 つの例示的处理では、再構成の前の投影データのすべてに対して決定される。任意選択で、重みが決定されると、この時点で使用可能なデータは、重み付けされた投影データを生成するために重みを適用することによって、重みを付けられる。本実施形態による別の例示的处理では、画像が再構成されると、重みが任意選択で決定される。

【 0 0 2 6 】

最後に、次にステップ S 1 2 0 では、以前に決定されたデータに基づいて画像を再構成する。ステップ S 1 2 0 の 1 つの例示的再構成ステップでは、画像は、ステップ S 1 1 0 からの重み付けされた投影データに基づいて再構成される。ステップ S 1 2 0 の別の例示的な再構成ステップでは、画像は、この時点で使用可能なデータおよびステップ S 1 1 0 からの対応する重みに基づいて再構成される。したがって、再構成画像は、大幅に軽減された量のストリークアーチファクトを含む。そのうえ、本実施形態によるストリークアーチファクト軽減処理は、本実施形態による大幅なストリークアーチファクト軽減を行う目的で画像を再構成するためのいかなる特定の技法、式、順序、または方法にも限定されない。

【 0 0 2 7 】

図 5 B は、本実施形態におけるストリークアーチファクト軽減処理でアップサンプリングするための任意選択の選定ステップを示す流れ図である。ステップ S 1 0 2 は、上述のアップサンプリングステップ S 1 0 0 で実行される。適応アップサンプリング選定ステップ S 1 0 2 では、任意選択で、アップサンプリング動作が所定の適応的な形で実行されるかどうかに関して決定する。一実装形態では、特定のパラメータは、アップサンプリング動作に対して適応的に変化されるかまたは固定される。たとえば、パラメータとしては、アップサンプリングされるべきビューの数と、新規データ点を追加するための補間の幅 (width of interpolation) がある。補間幅は、本願では U f a c t o r とも呼ばれる。ステップ S 1 0 2 において、アップサンプリング動作が適応的な形で実行されないことが決定された場合、アップサンプリング動作は、1 つの例示的な固定アップサンプリングステップ S 1 0 6 において固定パラメータ値を用いて実測データセット全体に対して実行される。同じ例を用いると、U f a c t o r は、アップサンプリングされるべき現在のビューの位置に関係なく単一の値に設定される。

【 0 0 2 8 】

さらに図 5 B を参照すると、ステップ S 1 0 2 において、アップサンプリング動作が適応的な形で実行されることが決定された場合、アップサンプリング動作は、1 つの例示的な適応アップサンプリングステップ S 1 0 4 において可変パラメータ値を用いて実測データセットに対して実行される。同じ例を用いると、ビューの数は、1 つの例示的な適応アップサンプリングステップ S 1 0 4 で次の式に従って U v i e w として適応的に決定される。

【 数 1 】

$$U_{view} = 2 \times \text{ceil} \left((T_{segMIN} - 2) \frac{ViewRev}{HP} \right) \quad (1)$$

【 0 0 2 9 】

上式で、c e i l は所定の関数であり、T s e g_{MIN} は追加するべき全セグメントの最小数であり、V i e w R e v は 1 回転あたりのビューの数であり、H P はヘリカルピッチである。

【 0 0 3 0 】

そのうえ、アップサンプリング動作のビューの範囲は、U v i e w に対して決定される

。つまり、ビューがアップサンプリングを開始および終了するところである。ViewProcessが常に偶数であると仮定して、開始ビューおよび終了ビューはそれぞれ、次のようにUview_startとUview_endとして、式(1)のUviewについて定義される。

【数2】

$$Uview_start = CentralView - \frac{Uview}{2} + 1/2 \quad (1A)$$

【0031】

10

【数3】

$$\begin{aligned} Uview_end &= CentralView - \frac{Uview}{2} - 1/2 \\ &= Uview_start + Uview - 1 \end{aligned} \quad (1B)$$

【0032】

上式で、

【数4】

$$CentralView = \frac{(ViewProcess - 1)}{2}$$

20

【0033】

であり、ViewProcessはアップサンプリングで処理すべきビューの数である。

【0034】

同様に、Ufactorは、1つの例示的な適応アップサンプリングステップS104で次の式に従って適応的に決定される。

【数5】

$$U' = \left(\frac{(Tseg_{MIN} - 2)}{|\Delta view|} \times \frac{ViewRev}{HP} \right) \quad (2)$$

30

【0035】

上式で、viewは中心ビューからの距離であり、Tseg_{MIN}は追加すべき全セグメントの最小数であり、ViewRevは1回転あたりのビューの数であり、HPはヘリカルピッチである。そのうえ、viewは次のように定義される。

【数6】

$$\Delta view = view - \frac{ViewProcess - 1}{2} \quad (3)$$

40

【0036】

上式で、ViewProcessはアップサンプリングで処理すべきビューの数であり、viewは、0からViewProcess - 1までの現在のビューインデックスである。

【0037】

本実施形態において、上記の適応アップサンプリングステップS104では、適応アップサンプリング動作の2つの例示的態様が示されている。適応アップサンプリングパラメータは、これらの2つの例示的態様に限定されない。この点に関して、適応アップサンプリングステップS104は、本実施形態による大幅なストリークアーチファクト軽減を行

50

う目的で上記の動作パラメータ値を決定するためのいかなる特定の技法、式、または方法にも限定されない。

【 0 0 3 8 】

次に図 5 C を参照すると、流れ図は、本実施形態による 1 つの例示的なストリークアーチファクト軽減処理に関与する全体的なステップを示す。この点に関して、図 5 A および図 5 B に関して説明したアップサンプリング動作のいくつかの態様は、本実施形態によるストリークアーチファクト軽減処理の一実施形態において異なるように系統立てられている。ストリークアーチファクトを大幅に軽減する例示の処理では、実測データは、特定のコーンビーム角を用いて所定のらせん状のデータ収集技法によって収集されている。ステップ S 2 0 0 では、上記の実測データは、さらなる処理のために入力される。ステップ S 2 1 0 では、実測データの一部が、アップサンプリングされるべき一連のビューに属するかどうか決定される。この決定は、さまざまな異なる方法で行われる。たとえば、式 (1 A) および式 (1 B) は、任意選択で、ステップ S 2 1 0 における決定のために用いられる。ステップ S 2 1 0 において、ビューがアップサンプリングされないと決定された場合、例示の処理はステップ S 2 3 0 に進む。一方、ステップ S 2 1 0 において、ビューがアップサンプリングされるべきであると決定された場合、例示の処理はステップ S 2 2 0 に進み、ステップ S 2 2 0 では、アップサンプリング動作が、補間などの所定の技法により追加のデータ点を生成するために行われる。

【 0 0 3 9 】

さらに図 5 C を参照すると、ステップ 2 3 0 では、C B W などの所定の重み付け関数に従って、この時点で使用可能なデータに対応する冗長な重みを決定する。ステップ S 2 2 0 が実行された場合、この時点で使用可能なデータとしては、実測ヘリカルコーンビームデータと、上述のアップサンプリング動作の結果として得られた補間データとがある。一方、ステップ S 2 2 0 が実行されなかった場合、この時点で使用可能なデータとしては、実測ヘリカルコーンビームデータのみがある。重みが決定されると、この時点で使用可能なデータは、重み付けされた投影データを生成するために重みを適用することによって、重みを付けられる。その後、次にステップ S 2 4 0 では、以前に決定されたデータに基づいて画像を再構成する。

所定のコーンビーム重み付け関数を W_{CBW} とした場合、 W_{CBW} は、

【 数 7 】

$$W_{CBW}(\beta, \gamma, v) = \frac{u_{CBW}(\beta, \gamma, v)}{\sum_{n=-N}^{n=N} u_{CBW}(\beta_n^C(\beta, \gamma), \gamma_n^C(\gamma), v_n^C(\gamma, v))}$$

ただし、 β : それぞれファン角度、 (γ, v) : 垂直座標におけるビュー角および検出器座標、上付き添え字 C : 相補

によって決定される非線形関数である。

【 0 0 4 0 】

上述のステップ S 2 1 0 から S 2 4 0 は、図 5 に示されるステップ S 2 5 0 で決定される実測データの残りの部分に対して繰り返される。ステップ S 2 5 0 で、実測データのすべての部分が処理されたと判断された場合、本実施形態によるステップ S 2 6 0 における例示の処理では、ステップ S 2 4 0 からの上記の再構成画像部分を結合する。したがって、結合された再構成画像は、大幅に軽減された量のストリークアーチファクトを含む。

【 0 0 4 1 】

ストリークアーチファクトを大幅に軽減する上述の処理では、図 5 A、図 5 B、および図 5 C の他の流れ図に関して説明した一連の他の特徴を任意選択で組み合わせる。たとえば、u V i e w などのビューの数と u F a c t o r などの補間幅とを含むアップサンプリング特性は、任意選択で、適応パラメータと固定パラメータとを組み合わせたものである

。いずれの場合にも、本実施形態によるストリークアーチファクト軽減処理は、本実施形態による大幅なストリークアーチファクト軽減を行う目的で画像を再構成するためのいかなる特定の技法、式、順序、または方法にも限定されない。

【0042】

次に図5Dを参照すると、流れ図は、本実施形態による別の例示的なストリークアーチファクト軽減処理に關与する全体的なステップを示す。この点に関して、図5Aおよび図5Bに関して説明したアップサンプリング動作のいくつかの態様は、本実施形態によるストリークアーチファクト軽減処理のこの実施形態において異なるように系統立てられている。ストリークアーチファクトを大幅に軽減する例示の処理では、実測データは、特定のコーンビーム角を用いて所定のらせん状のデータ収集技法によって収集されている。ステップS300では、上記の実測データは、さらなる処理のために入力される。実測データは、中心ビューからなる第1グループと残りのビューからなる第2のグループとを含む2つのサブセットに分割される。中心ビューは、任意選択で所定の基準によって定められ、典型的には20から40の数のビューを有する。一般に、本実施形態の大幅なストリークアーチファクト軽減処理では、中心ビューをアップサンプリングして残りのビューをアップサンプリングしないことによって、中心ビューを処理する。

【0043】

さらに図5Dを参照すると、ステップS310からS370では、中心ビューを処理する。ステップS310では、20から40の数の中心ビューを選択する。中心ビューは、本実施形態では、任意選択で式(1)と式(1A)と式(1B)との組み合わせによって選択される。ステップS350では、アップサンプリング動作が中心ビューに対して実行される。アップサンプリング動作は、図5Aから図5Cに関して上述した特徴を組み合わせたものを有する。たとえば、uViewなどのビューの数とuFactorなどの補間幅とを含むアップサンプリング特性は、任意選択で、適応パラメータと固定パラメータとを組み合わせたものである。ステップS360では、CBWなどの所定の重み付け関数に従って、中心ビュー上のこの時点で使用可能なデータに対応する冗長な重みを決定する。この時点で使用可能なデータとしては、実測ヘリカルコーンビームデータと、上述のアップサンプリング動作の結果として得られた補間データとがある。重みが決定されると、この時点で使用可能なデータは、重み付けされた投影データを生成するために、対応する重みを適用することによって、重みを付けられる。その後、次にステップS370では、以前に決定されたデータに基づいて画像を再構成する。

【0044】

一方、ステップS320からS340では、残りのビューを処理する。ステップS320で選択された残りのビューに対して、アップサンプリングは実行されない。本実施形態の例示の処理では、ステップS330で重みを決定および/または適用するだけで残りのビューを処理する。そのうえ、本実施形態の例示の処理では、ステップS330の後、ステップS340で残りのビューに基づいて画像を再構成する。最後に、本実施形態によるステップS380における例示の処理では、ステップS340とS370からの上記の再構成画像部分を結合する。したがって、結合された再構成画像は、大幅に軽減された量のストリークアーチファクトを含む。

【0045】

上述のように、ストリークアーチファクト軽減処理では、本実施形態によるステップS310からS370で中心ビューに対して、ステップS320からS340において残りのビューに対して所定の動作を行う。この点に関して、これらのステップは、順次行われてもよいし、並列で行われてもよい。ストリークアーチファクト軽減処理の一実装形態では、中心ビューと残りのビューに対して同時に動作が行われる。つまり、ステップS310からS370の第1のグループとステップS320からS340の第2のグループは並列に実行される。いずれの場合にも、本実施形態によるストリークアーチファクト軽減処理は、本実施形態による大幅なストリークアーチファクト軽減を行う目的で画像を再構成するためのいかなる特定の技法、式、順序、または方法にも限定されない。

【 0 0 4 6 】

図 6 は、本実施形態によってストリークアーチファクトを大幅に軽減するためのアップサンプリングの特定の態様を示す図である。例示の一実施形態は、 $uFactor$ または U とセグメントの数との関係を示す。一例として、図 6 (a) を参照すると、 $U = 1$ では、セグメント 0 から 3 を含む 4 つのセグメントがあると仮定して、各セグメントは 1 つのデータ点を有する。図 6 (b) は、 $U = 2$ において、セグメントの数は現在のレベルでの U 値と $U = 1$ での当初のセグメント数との積であるので、0 から 7 の 8 つのセグメントがあることを示す。 $U = 2$ において、各セグメントはこの時点で、補間された追加のデータ点を 1 つ有する。同様に、図 6 (c) は、 $U = 4$ において、セグメントの数は現在のレベルでの U 値と $U = 1$ での当初のセグメント数との積であるので、0 から 15 の 16 のセグメントがあることを示す。 $U = 4$ において、各セグメントはこの時点で、補間された追加のデータ点を 3 つ有する。最後に、図 6 (d) は、 $U = 8$ において、セグメントの数は現在のレベルでの U 値と $U = 1$ での当初のセグメント数との積であるので、0 から 31 の 32 のセグメントがあることを示す。 $U = 8$ において、各セグメントはこの時点で、補間された追加のデータ点を 7 つ有する。上述の関係は例に過ぎず、本実施形態によるストリークアーチファクト軽減処理は、アップサンプリングの図示の例のいかなる特定の技法、式、または方法にも限定されない。

10

【 0 0 4 7 】

図 7 A および図 7 B は、本実施形態による一比較例における大幅なストリークアーチファクト軽減の効果を示す。図 7 A は、ストリークアーチファクトに対する補正を行っていない、 Z 値が同一の (Z -uniform) 円柱から再構成された画像を示す。著しいストリークアーチファクトが認められる。図 7 B は、本実施形態によりストリークアーチファクトを大幅に軽減するための 1 つの例示の処理を施した、 Z 値が同一の円柱から再構成された画像を示す。著しいストリークアーチファクトは大幅に軽減されている。

20

【 0 0 4 8 】

図 8 A および図 8 B は、本実施形態による別の比較例における大幅なストリークアーチファクト軽減の効果を示す。図 8 A は、ストリークアーチファクトに対する補正を行っていない、時計ファントム (clock phantom) から再構成された画像を示す。いくつかの著しいストリークアーチファクトが認められる。図 8 B は、本実施形態によりストリークアーチファクトを大幅に軽減するための 1 つの例示の処理を施した、時計ファントムから再構成された画像を示す。著しいストリークアーチファクトは大幅に軽減されている。

30

【 0 0 4 9 】

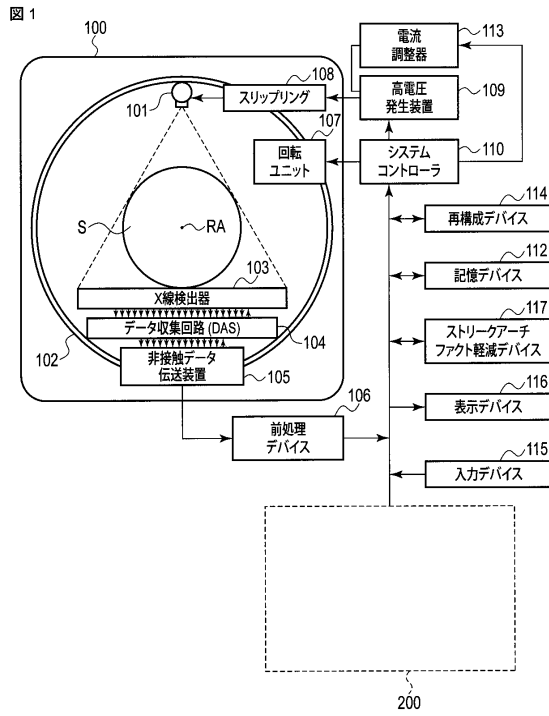
例えば、本実施形態によれば、ストリークアーチファクトが、一般的な $2PI$ モードでヘリカルピッチ比が 0.5 から 1.0 の間であるコーンビーム重み付け (CBW) を用いるヘリカル CT 再構成において生じる。このストリークアーチファクトは、重み付けの前にセグメント方向にアップサンプリングを実測データに適用することによって大幅に除去される。そのうえ、アップサンプリングをビューの Z 位置に適応させることによって、追加処理の量が大きく軽減されて 1 % 近くになる。

【 0 0 5 0 】

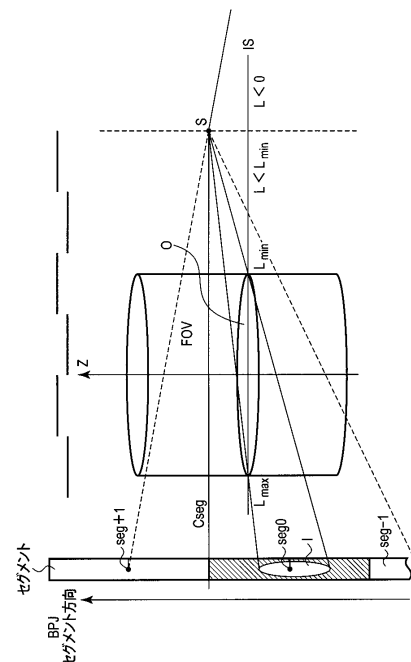
しかし、本発明の多数の特徴および利点は、本発明の構造および機能の詳細と共に前述の説明に記載されているが、本開示は例示に過ぎないこと、さらに、詳細、特に部品の形状、大きさ、および構成、ならびにソフトウェア、ハードウェア、またはその両方の組み合わせにおける実装形態に関して、変更を加えることができるが、この変更は、添付の特許請求の範囲が表現される用語の広い一般的な意味によって最大限示される本発明の原理内に含まれることを理解されたい。

40

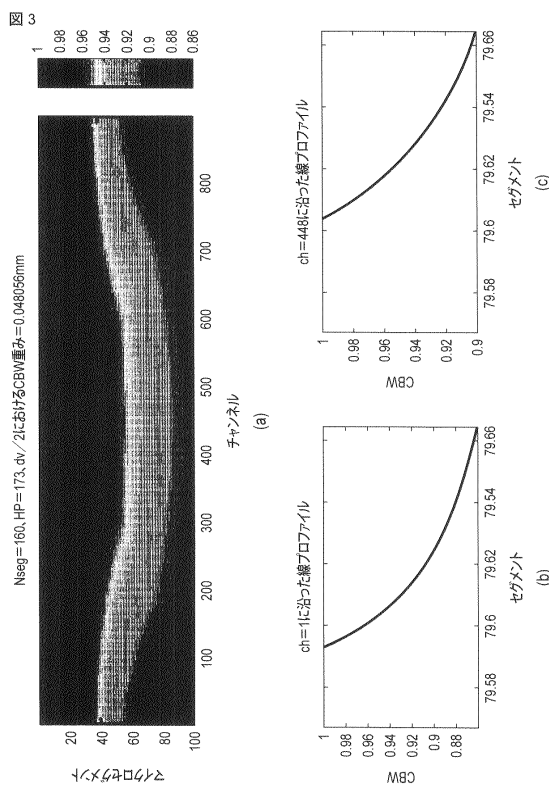
【 図 1 】



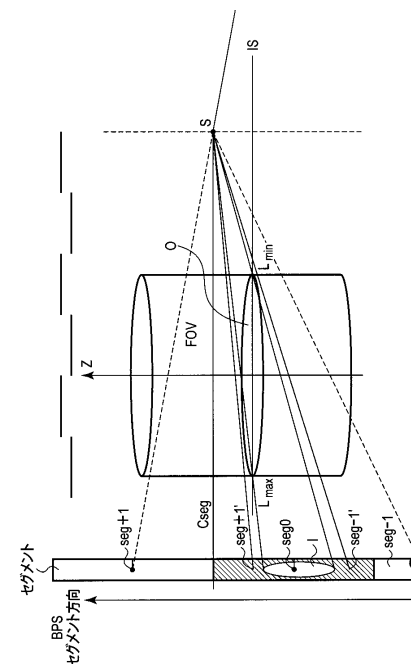
【 図 2 】



【 図 3 】

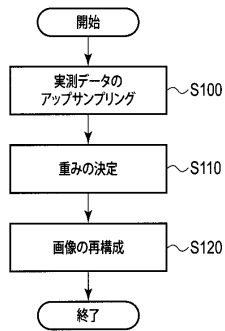


【圖 4】



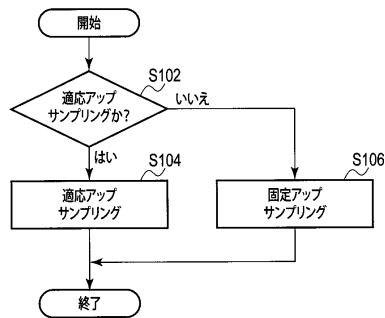
【図 5 A】

図 5A



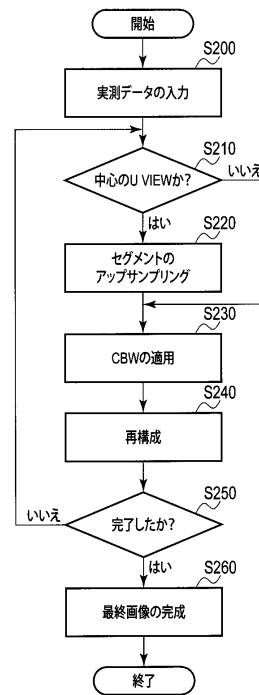
【図 5 B】

図 5B



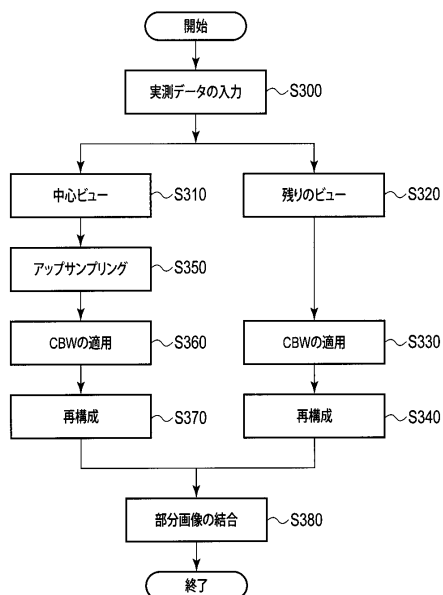
【図 5 C】

図 5C



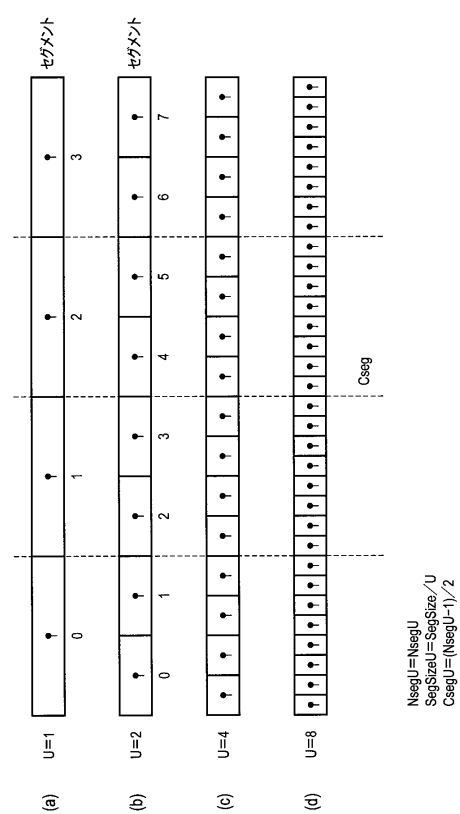
【図 5 D】

図 5D



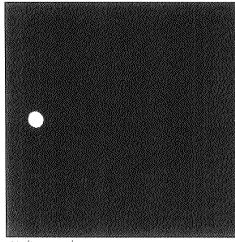
【図 6】

図 6



【図 7 A】

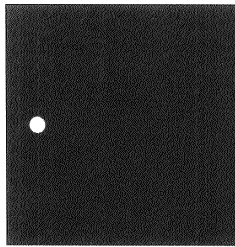
図 7A

 $W/L=60/0$

対象:Z値が同一の円柱

【図 7 B】

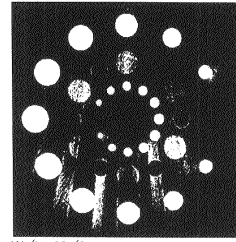
図 7B

 $W/L=60/0$

対象:Z値が同一の円柱

【図 8 A】

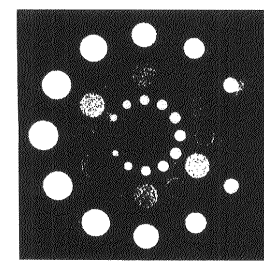
図 8A

 $W/L=60/0$

対象:時計ファントム

【図 8 B】

図 8B

 $W/L=60/0$

対象:時計ファントム

フロントページの続き

- (74)代理人 100140176
弁理士 砂川 克
- (74)代理人 100158805
弁理士 井関 守三
- (74)代理人 100172580
弁理士 赤穂 隆雄
- (74)代理人 100179062
弁理士 井上 正
- (74)代理人 100124394
弁理士 佐藤 立志
- (74)代理人 100112807
弁理士 岡田 貴志
- (74)代理人 100111073
弁理士 堀内 美保子
- (72)発明者 アレキサンダー・ザミャチン
アメリカ合衆国、 イリノイ州 60061、 パーノン・ヒルズ、 ディアパス・ドライブ 7
06 東芝メディカルリサーチ・アメリカ社内
- (72)発明者 トーマス・ラブノー
アメリカ合衆国、 イリノイ州 60061、 パーノン・ヒルズ、 ディアパス・ドライブ 7
06 東芝メディカルリサーチ・アメリカ社内

審査官 伊知地 和之

- (56)参考文献 特開2009-106753(JP, A)
特開平10-286253(JP, A)
特開2010-240498(JP, A)
米国特許出願公開第2009/0110257(US, A1)
米国特許出願公開第2004/0252806(US, A1)
米国特許第06028908(US, A)
特開2009-112816(JP, A)
米国特許出願公開第2009/0116721(US, A1)
米国特許出願公開第2007/0172019(US, A1)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

A61B 6/00 - 6/14