(19)日本国特許庁(JP)　(12)公開特許公報(A)　(11)特許出願公開番号
特開2020-174954
(P2020-174954A)
(43)公開日 令和2年10月29日(2020.10.29)

(51)Int.Cl.		F I			テーマコード（参考）
A61B 6/00	(2006.01)	A61B	6/00	350M	4C093
A61B 6/03	(2006.01)	A61B	6/03	350K	

審査請求 有 請求項の数 7 ＯＬ （全 25 頁）

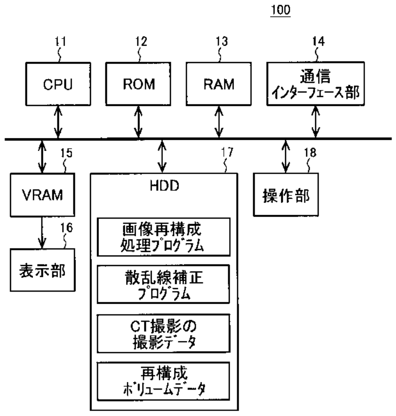
(21)出願番号 特願2019-80089(P2019-80089)
(22)出願日 平成31年4月19日(2019.4.19)

(71)出願人 000117054
朝日レントゲン工業株式会社
京都府京都市南区久世築山町３７６番地の３
(74)代理人 110001933
特許業務法人 佐野特許事務所
(72)発明者 正岡 聖
京都府京都市南区久世築山町３７６番地の３ 朝日レントゲン工業株式会社内

Ｆターム(参考) 4C093 AA22 CA07 DA05 FC26 FD07 FD08 FD11 FE12

(54)【発明の名称】散乱線強度算出装置及びそれを備えた散乱線補正装置並びに散乱線強度算出方法

(57)【要約】
【課題】任意の異なる生体を被写体とした場合でも適用可能な散乱線強度算出装置を提供する。
【解決手段】散乱線強度算出装置は記憶部、算出部、及び修正部を備える。前記記憶部は、被写体のＸ線撮影で用いられるディテクタ上の特定のピクセル位置の特定のフレームにおける全放射線強度に対する散乱放射線強度の算出結果の比と、前記特定のフレームでの前記被写体を設けないＸ線撮影で前記特定のピクセル位置で検出される全放射線強度に対する前記特定のフレームでの前記被写体のＸ線撮影で前記特定のピクセル位置で検出される全放射線強度の比との関係を示す曲線式のパラメータ、及び、前記ディテクタ上の前記特定のピクセル以外のピクセル位置における散乱放射線強度を補間する補間式又は前記補間式から算出される補間データを記憶する。前記算出部は前者の比を算出し、前記修正部は散乱放射線強度を修正する。
【選択図】図２９



【特許請求の範囲】
【請求項１】
被写体のＸ線撮影で用いられるディテクタ上の特定のピクセル位置の特定のフレームにおける全放射線強度又は直接放射線強度に対する散乱放射線強度の算出結果の比と、前記特定のフレームでの前記被写体を設けないＸ線撮影で前記特定のピクセル位置で検出される全放射線強度に対する前記特定のフレームでの前記被写体のＸ線撮影で前記特定のピクセル位置で検出される全放射線強度の比との関係を示す曲線式のパラメータを記憶し、且つ、前記ディテクタ上の前記特定のピクセル以外のピクセル位置における散乱放射線強度を、前記特定のピクセル位置の前記特定のフレームにおける散乱放射線強度の算出結果に基づいて補間する補間式又は前記補間式から算出される補間データを記憶する記憶部と、
前記特定のピクセル位置の前記特定のフレームにおいて、前記被写体のＸ線撮影で検出される全放射線強度又は直接放射線強度に対する散乱放射線強度の比を前記曲線式を用いて算出する算出部と、
前記特定のピクセル位置は、第１方向に沿って第１等間隔に並び、第２方向に沿って第２等間隔に並び、
４つの前記特定のピクセル位置で囲まれ、前記第１方向に沿って延びる前記第１等間隔と同じ長さの第１辺及び第２辺と前記第２方向に沿って延びる前記第２等間隔と同じ長さの第３辺及び第４辺とが外縁となる各領域を仮想的に設定し、
前記第１方向に沿って延び前記第１辺と前記第２辺との間を等分する複数の等分線を仮想的に設定し、
前記各領域において、前記第１辺、前記第２辺、及び前記複数の等分線それぞれの線上で前記被写体のＸ線撮影で検出される全放射線強度又は直接放射線強度に対する散乱放射線強度の比が最大になるピクセルを探し出し、前記探し出したピクセルの散乱放射線強度を４つの前記特定のピクセル位置の前記パラメータを用いて算出し、その算出結果を前記補間式又は前記補間データを用いて求めた前記探し出したピクセルの散乱放射線強度から差し引いたときの強度差を算出し、
前記各領域のうち前記第１方向に沿って並ぶ複数の領域において、前記第１方向に沿って同一直線上に位置する前記探し出したピクセルの前記強度差に基づき、前記第１方向に沿って同一直線上に位置する前記探し出したピクセル以外のピクセルの強度差を算出し、
その算出結果を前記補間式又は前記補間データを用いて求めた前記第１方向に沿って同一直線上に位置する前記探し出したピクセル以外のピクセルの散乱放射線強度から差し引いて、前記第１方向に沿って同一直線上に位置する前記探し出したピクセル以外のピクセルの散乱放射線強度を修正する修正部と、
を備える、散乱線強度算出装置。
【請求項２】
被写体のＸ線撮影で用いられるディテクタ上の特定のピクセル位置の特定のフレームにおける全放射線強度又は直接放射線強度に対する散乱放射線強度の算出結果の比と、前記特定のフレームでの前記被写体を設けないＸ線撮影で前記特定のピクセル位置で検出される全放射線強度に対する前記特定のフレームでの前記被写体のＸ線撮影で前記特定のピクセル位置で検出される全放射線強度の比との関係を示す曲線式のパラメータを記憶し、且つ、前記ディテクタ上の前記特定のピクセル以外のピクセル位置における散乱放射線強度を、前記特定のピクセル位置の前記特定のフレームにおける散乱放射線強度の算出結果に基づいて補間する補間式又は前記補間式から算出される補間データを記憶する記憶部と、
前記特定のピクセル位置の前記特定のフレームにおいて、前記被写体のＸ線撮影で検出される全放射線強度又は直接放射線強度に対する散乱放射線強度の比を前記曲線式を用いて算出する算出部と、
前記特定のピクセル位置は、第１方向に沿って第１等間隔に並び、第２方向に沿って第２等間隔に並び、
４つの前記特定のピクセル位置で囲まれ、前記第１方向に沿って延びる前記第１等間隔と同じ長さの第１辺及び第２辺と前記第２方向に沿って延びる前記第２等間隔と同じ長さ

の第３辺及び第４辺とが外縁となる各領域を仮想的に設定し、

前記第１方向に沿って延び前記第１辺と前記第２辺との間を等分する複数の等分線を仮想的に設定し、

前記第１辺、前記第２辺、及び前記複数の等分線の各間に位置するピクセルについて、前記第２方向に沿った直線上のピクセルにおける散乱放射線強度の変化量が前記第２方向に沿って修正前よりも滑らかに変化するように散乱放射線強度を修正し、

さらに、前記第２方向に沿った直線上に位置するピクセルにおける散乱放射線強度のプロファイル上の所定点に基づき、前記第２方向に沿った直線上に位置するピクセルにおける散乱放射線強度のプロファイルを修正し、

前記第２方向に沿った直線を複数設定し、

複数の前記第２方向に沿った直線の各間に位置するピクセルについて、散乱放射線強度の変化量が前記第１方向に沿って修正前よりも滑らかに変化するように散乱放射線強度を修正する修正部と、

を備える、散乱線強度算出装置。

【請求項３】

被写体のＸ線撮影で用いられるディテクタ上の各ピクセル位置における１フレーム分の散乱放射線強度のデータを取得する取得部と、

前記データを修正する修正部と、

を備え、

前記修正部は、

前記データでの各ピクセル位置に関して第１方向及び第２方向を規定し、

前記第２方向に沿った直線上に位置するピクセルにおける散乱放射線強度のプロファイル上の所定点に基づき、前記第２方向に沿った直線上に位置するピクセルにおける散乱放射線強度のプロファイルを修正し、

前記第２方向に沿った直線を複数設定し、

複数の前記第２方向に沿った直線の各間に位置するピクセルについて、散乱放射線強度の変化量が前記第１方向に沿って修正前よりも滑らかに変化するように散乱放射線強度を修正する、散乱線強度算出装置。

【請求項４】

請求項１～３のいずれか一項に記載の散乱線強度算出装置と、

前記散乱線強度算出装置によって算出された散乱線強度に基づいて前記被写体のＸ線撮影で得られる測定画像に対して散乱線補正を行う補正部と、

を備える、散乱線補正装置。

【請求項５】

被写体のＸ線撮影で用いられるディテクタ上の特定のピクセル位置の特定のフレームにおける全放射線強度又は直接放射線強度に対する散乱放射線強度の算出結果の比と、前記特定のフレームでの前記被写体を設けないＸ線撮影で前記特定のピクセル位置で検出される全放射線強度に対する前記特定のフレームでの前記被写体のＸ線撮影で前記特定のピクセル位置で検出される全放射線強度の比との関係を示す曲線式のパラメータ、及び、前記ディテクタ上の前記特定のピクセル以外のピクセル位置における散乱放射線強度を、前記特定のピクセル位置の前記特定のフレームにおける散乱放射線強度の算出結果に基づいて補間する補間式又は前記補間式から算出される補間データを記憶媒体から読み出す読出ステップと、

前記特定のピクセル位置の前記特定のフレームにおいて、前記被写体のＸ線撮影で検出される全放射線強度又は直接放射線強度に対する散乱放射線強度の比を前記読出ステップで読み出された前記パラメータによって定まる前記曲線式を用いて算出する算出ステップと、

前記特定のピクセル位置は、第１方向に沿って第１等間隔に並び、第２方向に沿って第２等間隔に並び、

４つの前記特定のピクセル位置で囲まれ、前記第１方向に沿って延びる前記第１等間隔

と同じ長さの第１辺及び第２辺と前記第２方向に沿って延びる前記第２等間隔と同じ長さの第３辺及び第４辺とが外縁となる各領域を仮想的に設定し、

前記第１方向に沿って延び前記第１辺と前記第２辺との間を等分する複数の等分線を仮想的に設定し、

前記各領域において、前記第１辺、前記第２辺、及び前記複数の等分線それぞれの線上で前記被写体のＸ線撮影で検出される全放射線強度又は直接放射線強度に対する散乱放射線強度の比が最大になるピクセルを探し出し、前記探し出したピクセルの散乱放射線強度を４つの前記特定のピクセル位置の前記パラメータを用いて算出し、その算出結果を前記補間式又は前記補間データを用いて求めた前記探し出したピクセルの散乱放射線強度から差し引いたときの強度差を算出し、

前記各領域のうち前記第１方向に沿って並ぶ複数の領域において、前記第１方向に沿って同一直線上に位置する前記探し出したピクセルの前記強度差に基づき、前記第１方向に沿って同一直線上に位置する前記探し出したピクセル以外のピクセルの強度差を算出し、

その算出結果を前記補間式又は前記補間データを用いて求めた前記第１方向に沿って同一直線上に位置する前記探し出したピクセル以外のピクセルの散乱放射線強度から差し引いて、前記第１方向に沿って同一直線上に位置する前記探し出したピクセル以外のピクセルの散乱放射線強度を修正する修正ステップと、

を備える、散乱線強度算出方法。

【請求項６】

被写体のＸ線撮影で用いられるディテクタ上の特定のピクセル位置の特定のフレームにおける全放射線強度又は直接放射線強度に対する散乱放射線強度の算出結果の比と、前記特定のフレームでの前記被写体を設けないＸ線撮影で前記特定のピクセル位置で検出される全放射線強度に対する前記特定のフレームでの前記被写体のＸ線撮影で前記特定のピクセル位置で検出される全放射線強度の比との関係を示す曲線式のパラメータを記憶し、且つ、前記ディテクタ上の前記特定のピクセル以外のピクセル位置における散乱放射線強度を、前記特定のピクセル位置の前記特定のフレームにおける散乱放射線強度の算出結果に基づいて補間する補間式又は前記補間式から算出される補間データを記憶媒体から読み出す読出ステップと、

前記特定のピクセル位置の前記特定のフレームにおいて、前記被写体のＸ線撮影で検出される全放射線強度又は直接放射線強度に対する散乱放射線強度の比を前記曲線式を用いて算出する算出ステップと、

前記特定のピクセル位置は、第１方向に沿って第１等間隔に並び、第２方向に沿って第２等間隔に並び、

４つの前記特定のピクセル位置で囲まれ、前記第１方向に沿って延びる前記第１等間隔と同じ長さの第１辺及び第２辺と前記第２方向に沿って延びる前記第２等間隔と同じ長さの第３辺及び第４辺とが外縁となる各領域を仮想的に設定し、

前記第１方向に沿って延び前記第１辺と前記第２辺との間を等分する複数の等分線を仮想的に設定し、

前記第１辺、前記第２辺、及び前記複数の等分線の各間に位置するピクセルについて、前記第２方向に沿った直線上のピクセルにおける散乱放射線強度の変化量が前記第２方向に沿って修正前よりも滑らかに変化するように散乱放射線強度を修正し、

さらに、前記第２方向に沿った直線上に位置するピクセルにおける散乱放射線強度のプロファイル上の所定点に基づき、前記第２方向に沿った直線上に位置するピクセルにおける散乱放射線強度のプロファイルを修正し、

前記第２方向に沿った直線を複数設定し、

複数の前記第２方向に沿った直線の各間に位置するピクセルについて、散乱放射線強度の変化量が前記第１方向に沿って修正前よりも滑らかに変化するように散乱放射線強度を修正する修正ステップと、

を備える、散乱線強度算出方法。

【請求項７】

被写体のＸ線撮影で用いられるディテクタ上の各ピクセル位置における１フレーム分の散乱放射線強度のデータを取得する取得ステップと、

前記データを修正する修正ステップと、

を備え、

前記修正ステップにおいて、

前記データでの各ピクセル位置に関して第１方向及び第２方向を規定し、

前記第２方向に沿った直線上に位置するピクセルにおける散乱放射線強度のプロファイル上の所定点に基づき、前記第２方向に沿った直線上に位置するピクセルにおける散乱放射線強度のプロファイルを修正し、

前記第２方向に沿った直線を複数設定し、

複数の前記第２方向に沿った直線の各間に位置するピクセルについて、散乱放射線強度の変化量が前記第１方向に沿って修正前よりも滑らかに変化するように散乱放射線強度を修正する、散乱線強度算出方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【０００１】

本発明は、Ｘ線撮影で得られる画像に含まれる散乱線成分の強度を算出する散乱線強度算出装置及び散乱線強度算出方法に関する。

【背景技術】

【０００２】

Ｘ線撮影で得られる画像は、被写体を透過した直接放射線に起因する直接線成分と、直接線成分以外の成分とを含む。直接線成分以外の成分としては、散乱線に起因する散乱線成分と、Ｘ線検出素子の光拡散およびＸ線撮影装置の系から発生する電気的ノイズ等に起因する成分とが存在するが、散乱線成分の方が支配的である。散乱線としては、被写体からの散乱線やフラットパネルディテクタの前面に設置されるカーボンからの散乱線などがある。

【０００３】

特に被写体のＸ線減弱が大きくなる箇所に相当するピクセル位置では、ディテクタに取り込まれるＸ　線の大半が散乱放射線となる場合もあり、線形性が大きく崩れ、アーチファクトが現れる要因となる。そして、これがＸ線撮影で得られる画像の画質の劣化を引き起こし、それが誤診の原因となったり、本来治療すべき病変を見逃すことになったりする場合がある。したがって、Ｘ線撮影で得られる画像の画質の劣化を抑えるためには、Ｘ線撮影で得られる画像から散乱線成分を低減した画像を導出する必要がある。

【先行技術文献】

【非特許文献】

【０００４】

【非特許文献１】佐久間俊光、外7名、「鉛ディスク法による散乱線測定」、東北大学医療技術短期大学部紀要、東北大学医療技術短期大学部、1995年、第4巻、第2号、p.119－124

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【０００５】

非特許文献１では、鉛ディスク法による散乱線測定が提案されている。しかしながら、任意の異なる生体を被写体とした場合でも適用可能な具体的な散乱線強度の算出手法については何ら開示されていない。

【０００６】

本発明は、上記の状況に鑑み、任意の異なる生体を被写体とした場合でも適用可能な散乱線強度算出装置及びそれを備えた散乱線補正装置並びに散乱線強度算出方法を提供することを目的とするものである。

【課題を解決するための手段】

【０００７】
上記目的を達成するために本発明の一局面に係る散乱線強度算出装置においては、被写体のＸ線撮影で用いられるディテクタ上の特定のピクセル位置の特定のフレームにおける全放射線強度又は直接放射線強度に対する散乱放射線強度の算出結果の比と、前記特定のフレームでの前記被写体を設けないＸ線撮影で前記特定のピクセル位置で検出される全放射線強度に対する前記特定のフレームでの前記被写体のＸ線撮影で前記特定のピクセル位置で検出される全放射線強度の比との関係を示す曲線式のパラメータを記憶し、且つ、前記ディテクタ上の前記特定のピクセル以外のピクセル位置における散乱放射線強度を、前記特定のピクセル位置の前記特定のフレームにおける散乱放射線強度の算出結果に基づいて補間する補間式又は前記補間式から算出される補間データを記憶する記憶部と、前記特定のピクセル位置の前記特定のフレームにおいて、前記被写体のＸ線撮影で検出される全放射線強度又は直接放射線強度に対する散乱放射線強度の比を前記曲線式を用いて算出する算出部と、前記特定のピクセル位置は、第１方向に沿って第１等間隔に並び、第２方向に沿って第２等間隔に並び、４つの前記特定のピクセル位置で囲まれ、前記第１方向に沿って延びる前記第１等間隔と同じ長さの第１辺及び第２辺と前記第２方向に沿って延びる前記第２等間隔と同じ長さの第３辺及び第４辺とが外縁となる各領域を仮想的に設定し、前記第１方向に沿って延び前記第１辺と前記第２辺との間を等分する複数の等分線を仮想的に設定し、前記各領域において、前記第１辺、前記第２辺、及び前記複数の等分線それぞれの線上で前記被写体のＸ線撮影で検出される全放射線強度又は直接放射線強度に対する散乱放射線強度の比が最大になるピクセルを探し出し、前記探し出したピクセルの散乱放射線強度を４つの前記特定のピクセル位置の前記パラメータを用いて算出し、その算出結果を前記補間式又は前記補間データを用いて求めた前記探し出したピクセルの散乱放射線強度から差し引いたときの強度差を算出し、前記各領域のうち前記第１方向に沿って並ぶ複数の領域において、前記第１方向に沿って同一直線上に位置する前記探し出したピクセルの前記強度差に基づき、前記第１方向に沿って同一直線上に位置する前記探し出したピクセル以外のピクセルの強度差を算出し、その算出結果を前記補間式又は前記補間データを用いて求めた前記第１方向に沿って同一直線上に位置する前記探し出したピクセル以外のピクセルの散乱放射線強度から差し引いて、前記第１方向に沿って同一直線上に位置する前記探し出したピクセル以外のピクセルの散乱放射線強度を修正する修正部と、を備える構成（第１の構成）とする。

【０００８】
上記目的を達成するために本発明の他の局面に係る散乱線強度算出装置においては、被写体のＸ線撮影で用いられるディテクタ上の特定のピクセル位置の特定のフレームにおける全放射線強度又は直接放射線強度に対する散乱放射線強度の算出結果の比と、前記特定のフレームでの前記被写体を設けないＸ線撮影で前記特定のピクセル位置で検出される全放射線強度に対する前記特定のフレームでの前記被写体のＸ線撮影で前記特定のピクセル位置で検出される全放射線強度の比との関係を示す曲線式のパラメータを記憶し、且つ、前記ディテクタ上の前記特定のピクセル以外のピクセル位置における散乱放射線強度を、前記特定のピクセル位置の前記特定のフレームにおける散乱放射線強度の算出結果に基づいて補間する補間式又は前記補間式から算出される補間データを記憶する記憶部と、前記特定のピクセル位置の前記特定のフレームにおいて、前記被写体のＸ線撮影で検出される全放射線強度又は直接放射線強度に対する散乱放射線強度の比を前記曲線式を用いて算出する算出部と、前記特定のピクセル位置は、第１方向に沿って第１等間隔に並び、第２方向に沿って第２等間隔に並び、４つの前記特定のピクセル位置で囲まれ、前記第１方向に沿って延びる前記第１等間隔と同じ長さの第１辺及び第２辺と前記第２方向に沿って延びる前記第２等間隔と同じ長さの第３辺及び第４辺とが外縁となる各領域を仮想的に設定し、前記第１方向に沿って延び前記第１辺と前記第２辺との間を等分する複数の等分線を仮想的に設定し、前記第１辺、前記第２辺、及び前記複数の等分線の各間に位置するピクセルについて、前記第２方向に沿った直線上のピクセルにおける散乱放射線強度の変化量が前記第２方向に沿って修正前よりも滑らかに変化するように散乱放射線強度を修正し、さ

らに、前記第２方向に沿った直線上に位置するピクセルにおける散乱放射線強度のプロファイル上の所定点に基づき、前記第２方向に沿った直線上に位置するピクセルにおける散乱放射線強度のプロファイルを修正し、前記第２方向に沿った直線を複数設定し、複数の前記第２方向に沿った直線の各間に位置するピクセルについて、散乱放射線強度の変化量が前記第１方向に沿って修正前よりも滑らかに変化するように散乱放射線強度を修正する修正部と、を備える構成（第２の構成）とする。

【０００９】

上記目的を達成するために本発明の更に他の局面に係る散乱線強度算出装置においては、被写体のＸ線撮影で用いられるディテクタ上の各ピクセル位置における１フレーム分の散乱放射線強度のデータを取得する取得部と、前記データを修正する修正部と、を備え、前記修正部は、前記データでの各ピクセル位置に関して第１方向及び第２方向を規定し、前記第２方向に沿った直線上に位置するピクセルにおける散乱放射線強度のプロファイル上の所定点に基づき、前記第２方向に沿った直線上に位置するピクセルにおける散乱放射線強度のプロファイルを修正し、前記第２方向に沿った直線を複数設定し、複数の前記第２方向に沿った直線の各間に位置するピクセルについて、散乱放射線強度の変化量が前記第１方向に沿って修正前よりも滑らかに変化するように散乱放射線強度を修正する構成（第３の構成）である。

【００１０】

上記目的を達成するために本発明に係る散乱線補正装置は、上記第１～第３いずれかの構成の散乱線強度算出装置と、前記算出部の算出結果及び前記修正部の修正結果に基づいて前記被写体のＸ線撮影で得られる測定画像に対して散乱線補正を行う補正部と、を備える構成（第４の構成）である。

【００１１】

上記目的を達成するために本発明の一局面に係る散乱線強度算出方法においては、被写体のＸ線撮影で用いられるディテクタ上の特定のピクセル位置の特定のフレームにおける全放射線強度又は直接放射線強度に対する散乱放射線強度の算出結果の比と、前記特定のフレームでの前記被写体を設けないＸ線撮影で前記特定のピクセル位置で検出される全放射線強度に対する前記特定のフレームでの前記被写体のＸ線撮影で前記特定のピクセル位置で検出される全放射線強度の比との関係を示す曲線式のパラメータ、及び、前記ディテクタ上の前記特定のピクセル以外のピクセル位置における散乱放射線強度を、前記特定のピクセル位置の前記特定のフレームにおける散乱放射線強度の算出結果に基づいて補間する補間式又は前記補間式から算出される補間データを記憶媒体から読み出す読出ステップと、前記特定のピクセル位置の前記特定のフレームにおいて、前記被写体のＸ線撮影で検出される全放射線強度又は直接放射線強度に対する散乱放射線強度の比を前記読出ステップで読み出された前記パラメータによって定まる前記曲線式を用いて算出する算出ステップと、前記特定のピクセル位置は、第１方向に沿って第１等間隔に並び、第２方向に沿って第２等間隔に並び、４つの前記特定のピクセル位置で囲まれ、前記第１方向に沿って延びる前記第１等間隔と同じ長さの第１辺及び第２辺と前記第２方向に沿って延びる前記第２等間隔と同じ長さの第３辺及び第４辺とが外縁となる各領域を仮想的に設定し、前記第１方向に沿って延び前記第１辺と前記第２辺との間を等分する複数の等分線を仮想的に設定し、前記各領域において、前記第１辺、前記第２辺、及び前記複数の等分線それぞれの線上で前記被写体のＸ線撮影で検出される全放射線強度又は直接放射線強度に対する散乱放射線強度の比が最大になるピクセルを探し出し、前記探し出したピクセルの散乱放射線強度を４つの前記特定のピクセル位置の前記パラメータを用いて算出し、その算出結果を前記補間式又は前記補間データを用いて求めた前記探し出したピクセルの散乱放射線強度から差し引いたときの強度差を算出し、前記各領域のうち前記第１方向に沿って並ぶ複数の領域において、前記第１方向に沿って同一直線上に位置する前記探し出したピクセルの前記強度差に基づき、前記第１方向に沿って同一直線上に位置する前記探し出したピクセル以外のピクセルの強度差を算出し、その算出結果を前記補間式又は前記補間データを用いて求めた前記第１方向に沿って同一直線上に位置する前記探し出したピクセル以外のピ

クセルの散乱放射線強度から差し引いて、前記第１方向に沿って同一直線上に位置する前記探し出したピクセル以外のピクセルの散乱放射線強度を修正する修正ステップと、を備える構成（第５の構成）とする。

【００１２】

上記目的を達成するために本発明の他の局面に係る散乱線強度算出方法においては、被写体のＸ線撮影で用いられるディテクタ上の特定のピクセル位置の特定のフレームにおける全放射線強度又は直接放射線強度に対する散乱放射線強度の算出結果の比と、前記特定のフレームでの前記被写体を設けないＸ線撮影で前記特定のピクセル位置で検出される全放射線強度に対する前記特定のフレームでの前記被写体のＸ線撮影で前記特定のピクセル位置で検出される全放射線強度の比との関係を示す曲線式のパラメータを記憶し、且つ、前記ディテクタ上の前記特定のピクセル以外のピクセル位置における散乱放射線強度を、前記特定のピクセル位置の前記特定のフレームにおける散乱放射線強度の算出結果に基づいて補間する補間式又は前記補間式から算出される補間データを記憶媒体から読み出す読出ステップと、前記特定のピクセル位置の前記特定のフレームにおいて、前記被写体のＸ線撮影で検出される全放射線強度又は直接放射線強度に対する散乱放射線強度の比を前記曲線式を用いて算出する算出ステップと、前記特定のピクセル位置は、第１方向に沿って第１等間隔に並び、第２方向に沿って第２等間隔に並び、４つの前記特定のピクセル位置で囲まれ、前記第１方向に沿って延びる前記第１等間隔と同じ長さの第１辺及び第２辺と前記第２方向に沿って延びる前記第２等間隔と同じ長さの第３辺及び第４辺とが外縁となる各領域を仮想的に設定し、前記第１方向に沿って延び前記第１辺と前記第２辺との間を等分する複数の等分線を仮想的に設定し、前記第１辺、前記第２辺、及び前記複数の等分線の各間に位置するピクセルについて、前記第２方向に沿った直線上のピクセルにおける散乱放射線強度の変化量が前記第２方向に沿って修正前よりも滑らかに変化するように散乱放射線強度を修正し、さらに、前記第２方向に沿った直線上に位置するピクセルにおける散乱放射線強度のプロファイル上の所定点に基づき、前記第２方向に沿った直線上に位置するピクセルにおける散乱放射線強度のプロファイルを修正し、前記第２方向に沿った直線を複数設定し、複数の前記第２方向に沿った直線の各間に位置するピクセルについて、散乱放射線強度の変化量が前記第１方向に沿って修正前よりも滑らかに変化するように散乱放射線強度を修正する修正ステップと、を備える構成（第６の構成）とする。

【００１３】

上記目的を達成するために本発明の更に他の局面に係る散乱線強度算出方法においては、被写体のＸ線撮影で用いられるディテクタ上の各ピクセル位置における１フレーム分の散乱放射線強度のデータを取得する取得ステップと、前記データを修正する修正ステップと、を備え、前記修正ステップにおいて、前記データでの各ピクセル位置に関して第１方向及び第２方向を規定し、前記第２方向に沿った直線上に位置するピクセルにおける散乱放射線強度のプロファイル上の所定点に基づき、前記第２方向に沿った直線上に位置するピクセルにおける散乱放射線強度のプロファイルを修正し、前記第２方向に沿った直線を複数設定し、複数の前記第２方向に沿った直線の各間に位置するピクセルについて、散乱放射線強度の変化量が前記第１方向に沿って修正前よりも滑らかに変化するように散乱放射線強度を修正する構成（第７の構成）とする。

【発明の効果】

【００１４】

本発明によると、任意の異なる生体を被写体とした場合でも適用可能な散乱線強度算出装置及びそれを備えた散乱線補正装置並びに散乱線強度算出方法を実現することができる。

【図面の簡単な説明】

【００１５】

【図１】鉛円板、Ｘ線源、及び被写体の位置関係を示す図

【図２】鉛円板の直径を変えた場合の全放射線の強度と、鉛円板がない場合の散乱放射線の強度とを示すグラフ

【図３】各近似方法で求めた外挿データの誤差を示す表
【図４】ディテクタ上の特定のピクセル位置の一例を示す図
【図５】１０個のプロファイルの位置を示す図
【図６】１ブロックのピクセルの座標と強度に関する模式図
【図７】測定画像上の特定のピクセル位置の一例を示す図
【図８】鉛円板の直径を変えた場合の全放射線の強度と、鉛円板がない場合の散乱放射線の強度とを示すグラフ
【図９】アキシャル像を示す図
【図１０】着目ピクセル領域を示す測定画像および着目ピクセル領域におけるパラメータの計算結果を示すグラフ
【図１１】着目ピクセル領域を示す測定画像および着目ピクセル領域におけるパラメータの計算結果を示すグラフ
【図１２】着目ピクセル領域を示す測定画像および着目ピクセル領域におけるパラメータの計算結果を示すグラフ
【図１３】着目ピクセル領域を示す測定画像および着目ピクセル領域におけるパラメータの計算結果を示すグラフ
【図１４】着目ピクセル領域を示す測定画像および着目ピクセル領域におけるパラメータの計算結果を示すグラフ
【図１５】着目ピクセル領域を示す測定画像および着目ピクセル領域におけるパラメータの計算結果を示すグラフ
【図１６】ディテクタ上の特定のピクセル位置の一例を示す図
【図１７】散乱放射線の強度及びディテクタ上の特定のピクセル位置の一例を示す図
【図１８】全放射線の強度と散乱放射線の強度とを示すグラフ
【図１９】着目ピクセル領域におけるパラメータの計算結果を示すグラフ
【図２０】縦方向のピクセルラインを示す図
【図２１】強度差を示すグラフ
【図２２】散乱放射線の強度を表すイメージ図
【図２３】全放射線の強度と散乱放射線の強度とを示すグラフ
【図２４】散乱放射線の強度を示すグラフ
【図２５】散乱放射線の強度を示すグラフ
【図２６】散乱放射線の強度を示すグラフ
【図２７】散乱放射線の強度を表すイメージ図
【図２８】散乱放射線の強度を示すグラフ
【図２９】発明の一実施形態に係る散乱線補正装置の構成を示す図
【発明を実施するための形態】
【００１６】
本発明の実施形態について図面を参照して以下に説明する。本発明に係る散乱線強度算出装置及びそれを備えた散乱線補正装置を開発するために検討及び評価した結果について説明し、最後に本発明に係る散乱線強度算出装置及びそれを備えた散乱線補正装置について説明する。なお、本実施形態では、ディテクタの各画素でフレーム毎に計数される値である画素値を強度と呼ぶことにする。強度には、直接放射線が寄与する分と、散乱放射線が寄与する分とが含まれている。本実施形態では、前者を直接放射線による強度又は直接放射線の強度と呼び、後者を散乱放射線による強度又は散乱放射線の強度と呼ぶことにする。
【００１７】
＜１．ディテクタの各ピクセルで取り込まれる散乱放射線の計算＞
＜１－１．鉛円板の位置に対応するピクセルにおける散乱放射線の強度＞
ディテクタの有感領域での散乱放射線の強度は実験的に求めることができる。その方法としては、直径の異なる数種類の鉛円板１を図１に示すようにＸ線源２と被写体３の間に設置してＣＴ撮影を行い、鉛円板１の中心位置に対応するディテクタ４のピクセル位置の

強度を比較して外挿する。

【００１８】

鉛円板は十分な厚さがあればＸ線をほぼ遮断できると考えてよい。したがって、鉛円板の中心位置に対応するディテクタのピクセル位置の強度は、直接放射線成分を含まず散乱放射線のみが反映されていると考えることができる。この鉛円板の中心位置に対応するディテクタのピクセル位置の強度に反映される散乱放射線は、鉛円板の外側を通過したＸ線が被写体に照射した場合に生成する散乱放射線であると考えられる。

【００１９】

しかし、鉛円板に照射するＸ線は吸収されて被写体に照射しないので、その分散乱放射線が減少することになる。そして、その減少分は鉛円板の直径が小さくなればなるほど少なくなる。つまり、鉛円板の直径が小さいほど散乱放射線が多くなる。そして、鉛円板の直径と散乱放射線との関係を外挿して直径が０のときの散乱放射線の強度（外挿データ）を求めると、鉛円板を設置せずに通常のＣＴ撮影を行った場合にそのピクセルで反映される散乱放射線の強度であるとみなすことができる。

【００２０】

＜１－２．外挿データに関する検討＞

上記１－１．で説明した外挿データを求める具体的な方法を検討するため、頭部ファントムを模した数学ファントムにＸ線管から放出されるＸ線スペクトルのＸ線束を照射したときのＸ線の挙動を、モンテカルロ法を用いて計算することによりディテクタの各ピクセルで取り込まれる直接放射線や散乱放射線の数を計算した。ディテクタは蓄積型であるので厳密には異なるが、ピクセルに取り込まれるＸ線の数と得られる強度とはほぼ比例関係にあると考えることができる。

【００２１】

頭部ファントムは、前歯や臼歯、上顎、下顎、頸椎、軟組織等、形状や構成する組成をできるだけ現実のものに近づけるようにしてジオメトリーを作成した。実際のＣＴ撮影では、患者の余分な被曝を抑えるため、ディテクタの有感領域にのみ直接Ｘ線が入射するようＸ線束をＸ線管直下において鉛コリメータでカットしているので、モンテカルロ法を用いた計算でも同様にカットした。Ｘ線が被写体で散乱せずに取り込まれるべきピクセルで検出された場合は直接放射線とみなし、異なるピクセルで取り込まれた場合は散乱放射線とみなして、直接放射線と散乱放射線をそれぞれ計算した。直接放射線と散乱放射線の和が、実際のＣＴ撮影においてディテクタで検出される放射線に対応する。ここでは、直接放射線と散乱放射線の和を全放射線とする。

【００２２】

Ｘ線源と頭部ファントムとの間に設置した鉛円板の直径を２ｍｍ、４ｍｍ、８ｍｍ、１２ｍｍ、１６ｍｍ、２０ｍｍ、２４ｍｍと変化させてモンテカルロ法で計算した場合の全放射線の強度から外挿して算出した０ｍｍの場合、すなわち、鉛円板を設置しない場合の散乱放射線の強度と、モンテカルロ法で計算した０ｍｍの場合の散乱放射線の強度とを比較する。

【００２３】

図２は、鉛円板の直径を変えた場合の全放射線の強度と、鉛円板がない場合の散乱放射線の強度とを、正面照射、側面照射、背面照射それぞれにおいて示すグラフである。前者の値から外挿した値を算出するための近似方法として、（Ｉ）軸対称な６次曲線で近似した場合、（ＩＩ）軸対称な６次曲線と、直径２ｍｍ及び４ｍｍの２点を結ぶ直線との間の平均値で近似した場合、（ＩＩＩ）１次式の最小二乗法で近似した場合、の３つのパターンを検討した。

【００２４】

図３は、各照射パターンにおける、各近似方法を用いて得られた鉛円板を設置しない場合の散乱放射線の強度と、モンテカルロ法で計算した０ｍｍの場合の散乱放射線の強度との誤差を示す表である。

【００２５】

全体的に最も安定して誤差が小さいのは近似方法（II）である。したがって、以下の説明では、近似方法（II）で散乱放射線の強度を算出することにした。

【００２６】

しかしながら、近似方法（I）、近似方法（III）、或いは近似方法（I）～（III）以外の近似方法を採用してよい。なお、近似方法（II）や近似方法（I）のように６次式を用いることで誤差が小さくなるので、６次式を用いた近似を行うことが望ましい。

【００２７】

ディテクタ上の特定のピクセル位置における散乱放射線による強度は上記のようにして求めることができる。以下の説明では、図１において設置する鉛円板の位置を、それに対応するディテクタ上のピクセル位置が図４に示す５×５＝２５箇所の黒丸部分のいずれかになるように調整して各撮影を行い、得られる実験データから散乱放射線を算出する。

【００２８】

＜１－３．　ディテクタ上の全ピクセルにおける散乱放射線の強度の計算＞

ディテクタ上において、各ピクセル位置での散乱放射線はピクセル座標が変化してもそれほど急激に変化せず、緩やかに変化する。図５の２５箇所の散乱放射線の強度が分かっているので、これが滑らかに変化するように残りのピクセルにおける散乱放射線の強度を計算することが可能である。撮影実験に先立って、計算によりこれを実証したので以下に示す。

【００２９】

上記１－２．と同様にモンテカルロ法を用いて、鉛円板を取り除いたジオメトリーでＸ線を照射した場合にディテクタの各ピクセルで取り込まれる直接放射線と散乱放射線の数を計算する。このとき、横軸または縦軸方向に平行な１列のピクセル上で取り込まれる散乱放射線の強度のピクセルナンバーに対するプロファイルを考えると、これらは緩やかな曲線を描く。このプロファイルは、その内５点の値が既知であれば、最小二乗法により４次曲線で近似できる。図４に示す２５箇所の黒丸部分で考えると、縦方向と横方向で計１０個のプロファイルをそれぞれ近似することができる。すると、図５に示す実線上のピクセルにおける散乱放射線の強度は４次曲線での近似により算出することができる。これらの強度から、その他のピクセルにおける散乱放射線の強度を算出することになる。その手順を以下に示す。

【００３０】

ディテクタ上のピクセルは図５に示す実線によって区切られる１６個のブロックのいずれかに必ず属するので、その属するブロック内の座標(x,y)のピクセルにおける散乱放射線の強度$Bv(x,y)$を算出することを考える。この１ブロックのピクセルの座標と強度に関する模式図を図６に示す。

【００３１】

ブロックの角の座標をそれぞれ(x_0,y_0)、(x_1,y_0)、(x_0,y_1)、(x_1,y_1)とする。すると、ブロックの角４点の強度$Bv(x_0,y_0)$、$Bv(x_1,y_0)$、$Bv(x_0,y_1)$、$Bv(x_1,y_1)$および、着目ピクセル(x,y)を通り横軸方向および縦軸方向に平行な直線とブロックの境界位置のピクセルにおける強度$Bv(x,y_0)$、$Bv(x_1,y)$、$Bv(x,y_1)$、$Bv(x_0,y)$は、全て上述した４次曲線での近似により強度を算出することができるピクセルにおける強度であるので、すでに既知である。

【００３２】

ピクセル位置を(x,y_0)から(x,y)、(x,y_1)へと移動するとき、$Bv(x,y_0)$、$Bv(x,y)$、$Bv(x,y_1)$への強度の変化は、$Bv(x_0,y_0)$、$Bv(x_0,y)$、$Bv(x_0,y_1)$への強度の変化、および、$Bv(x_1,y_0)$、$Bv(x_1,y)$、$Bv(x_1,y_1)$への強度の変化の影響を受けることになる。このとき、強度は緩やかに変化するので、強度の比$Bv(x,y)/Bv(x_0,y)$は、$Bv(x,y_0)/Bv(x_0,y_0)$と$Bv(x,y_1)/Bv(x_0,y_1)$の間の値を緩やかに変化すると考えるのが妥当である。

【００３３】

ここで、y 座標の変化に伴って強度が単調に変化すると仮定すると、強度の比$Bv(x,y)/Bv(x_0,y)$を求めることができ、$Bv(x_0,y)$が既知なので、$Bv(x,y)$を計算することができる

。これをBvs1(x,y) とする。一方、Bv(x,y)/Bv(x_1,y)はBv(x,y_0)/Bv(x_1,y_0)とBv(x,y_1)/Bv(x_1,y_1)の間を緩やかに変化すると考えることもできるので、このことからもBv(x,y)を計算することができ、これをBvl1(x,y) とする。一般にBvs1(x,y) とBvl1(x,y)は一致しないので、これをBv(x,y)の仮の値としてBv1(x,y)とした。

【００３４】

【数１】

$$Bv1(x,y) = \sqrt{Bvs1(x,y)^2 + Bvf1(x,y)^2} \qquad (1)$$

【００３５】

しかし、これをブロック内のすべてのピクセルに適用しようとすると、ブロックの境界部分（x= x_0およびx= x_1 のとき）で強度の不整合が生じる。そこで、x= x_0およびx= x_1のときのBv(x,y)の値をそれぞれBv00(y)，Bv01(y) とする。本来、Bv1(x_0,y) はBv00(y)に、Bv1(x_1,y) はBv01(y)に一致しなければならないので、x= x_0 およびx= x_1 でそれぞれ一致するよう以下のようにBv1(x,y) を補正して、その補正した値をBv(x,y)とする。

【００３６】

【数２】

$$Bv(x,y) = Bv1(x,y) - \left(Bv1(x_0,y) - Bv00(y)\right)\frac{x_1 - x}{x_1 - x_0} - \left(Bv1(x_1,y) - Bv01(y)\right)\frac{x - x_0}{x_1 - x_0} \qquad (2)$$

【００３７】

＜２．実験方法＞

Ｘ線撮影装置は朝日レントゲン工業株式会社製のAUJE SOLIO を使用した。歯科用Ｘ線ＣＴ装置では、被写体の周りをＸ線管とディテクタがそれぞれ両端に設置されたアームが３６０度回転する。フレーム数は５１０枚、フレームレートは３０ｆｐｓである。ディテクタの有感領域は１５６．９６ｍｍ×１５９．３６ｍｍ（６５４ピクセル×６６４ピクセル）であり、ディテクタの素子はＣｓＩ、厚さは７００μｍである。焦点からディテクタまでの距離が６００ｍｍ、焦点から回転中心までの距離が３７５ｍｍとなる。Ｘ線管の管電圧は８５ｋＶ、管電流は４ｍＡとした。

【００３８】

撮影は、頭部ファントムを最適な位置に設置した場合、横方向に－５ｍｍ、－３ｍｍ、＋３ｍｍ、＋５ｍｍずらした場合、前後方向に－５ｍｍ、＋５ｍｍずらした場合、上下方向に－５ｍｍ、＋５ｍｍずらした場合の９パターン行った。実際はファントムを固定してアームの中心位置および高さを調整することで対応した。

【００３９】

それぞれのパターンについて鉛円板を設置しない通常の撮影、図４に示す２５箇所に対応する位置に中心位置がくるように異なる直径の鉛円板をそれぞれ1 つずつ設置した場合の撮影を行った。鉛円板の直径は、２．３ｍｍ、４．７ｍｍ、８．２ｍｍ、１１．８ｍｍ、１５．５ｍｍの５種類である。したがって、撮影は１パターンで５×２５＋１＝１２６回、全部で９×１２６＝１１３４ 回行った。それぞれの撮影に対して、５１０枚（フレーム数分）の測定画像のデータがある。

【００４０】

＜３．実験結果＞

上述した＜１．ディテクタの各ピクセルで取り込まれる散乱放射線の計算＞で説明した方法に基づいて、各パターン、各鉛円板位置、各フレームの撮影データについて、鉛円板の直径の変化に対する、鉛円板位置に対応するピクセル領域の平均強度をグラフ化して、直径が０の場合の強度を外挿することによって、有感領域内の２５箇所の散乱放射線による強度を算出した。これらの内、頭部ファントムを最適な位置に設置したパターンにおいて、図７(i)～図７(iv)に示すフレームNo. １（正面照射），128（側面照射），256（背面照射），384（側面照射）の測定画像の４箇所のピクセル領域ａ～ｄについて、鉛円板の

直径を横軸、強度を縦軸に取った場合のグラフを図８（ａ）～図８（ｄ）に示す。ただし、直径０ｍｍのときの強度は、直径２．３ｍｍから１５．５ｍｍのときの５点の強度を用いて外挿により算出した値である。また、図７（ｉ）はｃの位置、図７（ｉｉ）はｄの位置、図７（ｉｉｉ）はａの位置、図７（ｉｖ）はｂの位置に鉛円板が該当する場合の測定画像を例として示している。なお、暗電流による強度は差し引いている。

【００４１】

図８（ａ）～図８（ｄ）に示すグラフでは、被写体の厚みが薄く測定画像の強度が高い箇所では散乱放射線の強度が大きく、被写体が厚い部分では逆に小さくなっており、散乱放射線の特徴が現れている。また、いずれも外挿した０ｍｍのときの強度と撮影で得られた他の強度とは滑らかな曲線を描いており、この方法で妥当な散乱放射線の強度が算出されていると考えてよい。そして、頭部ファントムの位置がずれた他のパターンについても同様にディテクタの有感領域内における散乱放射線の強度を算出することができる。

【００４２】

<４．散乱線補正の効果>

上述した方法で算出した散乱放射線の強度を用いて散乱線補正を行うことによって、ＣＴ再構成画像の画質がどの程度向上するのかを確認する必要がある。

【００４３】

そこで、頭部ファントムが最適な位置に設置されているパターンで撮影して得られるデータから、各フレームについて２５箇所のピクセル領域の散乱放射線の強度を算出した。そして、フレームごとに、式（２）を用いてディテクタのピクセル全体の散乱放射線の強度を算出して、撮影で得られた測定画像の各ピクセルにおける放射線（直接放射線＋散乱放射線）の強度からその散乱放射線の強度を差し引くことによって、散乱線補正を実行した。

【００４４】

そして、これら処理後の測定画像を再構成した三次元ＣＴ画像と、特開２０１５－６５９９３号公報で提案されている散乱線補正を適用した画像とを比較した。その結果を以下に示す。

【００４５】

図９（ａ）は測定画像を、散乱線補正を行わずに画像再構成した場合の、アキシャル画像を１箇所ピックアップして示したものである。

【００４６】

図９（ｂ）は測定画像に対して、特開２０１５－６５９９３号公報で提案されている散乱線補正を適用した後に画像再構成した場合の、アキシャル画像を１箇所ピックアップして示したものである。

【００４７】

図９（ｃ）は測定画像に対して、上述した方法で算出した散乱放射線の強度を用いて散乱線補正を行った後に画像再構成した場合の、アキシャル画像を１箇所ピックアップして示したものである。

【００４８】

図９（ｂ）では歯列の内側や歯間に沿った方向や臼歯間にアーチファクトが現れており、図９（ａ）と比較してそれほど変化がなくあまり画質が改善されていないが、図９（ｃ）ではアーチファクトが解消されている。すなわち、上述した方法で算出した散乱放射線の強度を用いた散乱線補正が有効であることが分かる。

【００４９】

<５．ＣＴ撮影における頭部ファントムの異なった位置づけで得られる散乱放射線の強度の割合の曲線近似>

<５－１．近似曲線の算出方法>

上述した散乱線補正を、頭部ファントムの任意の位置づけ、さらには、任意の生体データにも適用できるようにするためには、鉛円板の位置に対応する２５箇所のピクセル領域のフレームごとに得られる散乱放射線の強度について、計算式を用いて算出できるように

する必要がある。本節では、頭部ファントムの９種類の位置づけパターンにおいて得られるデータを用いて曲線の計算式を導き、２５箇所のピクセル領域のフレームごとのパラメータを算出したので、その方法を以下に示す。なお、以下で述べるピクセルの強度について、暗電流による影響はすでに取り除いているものとする。

【００５０】

曲線の横軸は、被写体を設置しないで撮影を行った場合（このとき得られる測定画像を白画像と呼ぶことにする）に各ピクセルで得られる強度に対する、頭部ファントムを設置して撮影した場合（直接放射線も散乱放射線も含んでいるので、このとき得られる放射線を全放射線と呼ぶことにする。また、鉛円板は設置しない）の強度の比とし、それをＸとする。また、曲線の縦軸は、全放射線の強度に対する、上記＜３．実験結果＞において算出した散乱放射線の強度の比とし、それをＹとする。

【００５１】

すると、ＸとＹはともに１より小さい値をもち、被写体が薄い経路を通るときはＸが１に近づき、逆に厚い場合は０に近づく。散乱放射線の割合が大きいときはＹが１に近づき、小さいときは０に近づく。頭部ファントムのような大きい被写体においては、被写体が厚いと散乱放射線の割合が大きく、薄いと小さくなる傾向がある。以上の傾向に加え、グラフ化した場合のこれらの分布を考慮し、ＸとＹの関係を表す曲線の式を、パラメータａおよびパラメータｂを用いた下記の式（３）とした。

【００５２】

【数３】

$$Y = aX^{b} \qquad (3)$$

【００５３】

前述したように、これを各ピクセル領域の各フレームで得られる９つのデータ分布に対して適用する。式（３）は、両辺に対数をとって$Y_{log}=\log Y$、$X_{log}=\log X$とすることにより、下記の式（４）に変形でき、Y_{log}をX_{log}の１次式で表わすことができる。

【００５４】

【数４】

$$Y_{log} = bX_{log} + \log a \qquad (4)$$

【００５５】

このため、最小二乗法を適用することによって、各ピクセル領域のフレームごとに式（３）で近似して、そのパラメータａの値およびパラメータｂの値を算出することができる。したがって、Ｘの値とＹの値が式（３）で一意的に決まるので、任意のＸの値に対してＹの値を求めることができる。すなわち、特定のピクセル領域の特定のフレームにおいて、撮影によって得られる任意の強度に対して散乱放射線による強度を一意的に算出することができる。

【００５６】

＜５－２．最小二乗法を用いたパラメータの計算＞

撮影した９パターンの頭部ファントムの位置づけに対して得られたデータ群すべてを式（３）で近似して、それぞれについてパラメータａの値およびパラメータｂの値を決め、データ群と近似曲線とを比較した。これらの内、特徴的な曲線のグラフについて取り上げ、撮影で得られたデータと曲線の間の誤差を計算したので以下に示す。

【００５７】

図１０～図１５の（ａ）は、着目したフレームの測定画像の内頭部ファントムの位置づけが最適な位置となっているパターンの測定画像を示し、着目したピクセル領域を四角のマークで示している。

【００５８】

図１０～図１５の（ｂ）は、その着目したフレームの着目したピクセル領域におけるＸとＹの分布と曲線の近似式をグラフ化したものである。

【００５９】
図１０から図１２ までは、歯列付近のピクセル領域の曲線近似を表している。図１１では、頭部ファントムの位置がずれることで透過Ｘ線の経路上の骨の厚さが変化するためＸ線減弱が大きく変化しており、Ｘの変化量が大きい。しかし、これらのデータ群の分布は式（３）で表わされる曲線で近似することができ、よく合っていることがグラフからも分かる。その誤差は５％程度以内となっている。誤差の精度は、データ数が増えればさらによくなっていくことが期待される。
【００６０】
図１２の着目ピクセル領域は、頭部ファントムの厚みが大きい部分であり、この部分はファントムの位置づけがずれてもＸ線の透過経路におけるファントムの厚みはほとんど変わらない。このため、ＸもＹも変化量が小さい。したがって、散乱放射線による強度もほとんど変化しない。
【００６１】
図１０の（ｂ）は、ちょうど歯列が重なっている部分とその周辺に位置する場合の曲線近似であり、重なり位置となった場合は散乱放射線の割合が非常に高くなる。しかし、この場合でもデータ群は、曲線に沿った形で分布している。
【００６２】
図１３～図１４の（ｂ）は、歯列付近から離れたピクセル領域の曲線近似を表している。これらについても、いずれのデータ群も曲線に沿った分布をしており、誤差は歯列付近よりもよい値が得られている。ピクセルライン（直線状に並ぶ複数のピクセルの集合体）に沿った強度の変化が歯列付近よりも緩やかであるため、散乱放射線の割合の変化も少ないと考えられる。
【００６３】
図１５の（ｂ）は、ディテクタの端の、頭部ファントムの厚みが非常に薄い領域の曲線近似を表している。これらについても、いずれのデータ群も曲線に沿った分布をしている。
【００６４】
＜６．臼歯の重なり部分等、Ｘ線減弱が大きい部分の取扱い＞
歯列部分、特に歯の重なり部分などＸ線減弱の大きい部分に対応するディテクタ上のピクセルにおいては、Ｘ線減弱が小さい場合よりも散乱放射線による強度が小さい。すると、任意の生体データに適用する場合、実際の投影画像においては、歯の重なり部分が２５箇所のピクセル領域の間に位置する場合などは、上記の＜１－３． ディテクタ上の全ピクセルにおける散乱放射線の強度の計算＞で求めた４次曲線によるプロファイルでは散乱放射線による強度が実際よりも大きい値で計算される場合がある。そうすると、散乱線補正後の歯列部分の強度が少なくなり、ＣＴ再構成画像に少なからず影響を与えるので、散乱放射線の強度を修正する必要がある。この修正方法の一例を以下に示す。
【００６５】
図１６に１フレームの投影画像と２５箇所の領域が示されている。また、図１７には、上記の＜１－３． ディテクタ上の全ピクセルにおける散乱放射線の強度の計算＞で計算した、図１６に対応する散乱放射線の強度と２５箇所のピクセル位置が示されている。歯列部分に相当するのは点７と点１２の間、点８と点１３の間、点９と点１４の間である。図１８は図１６中の点２、点７、点１２、点１７、点２２を通るピクセルライン上における全放射線の強度と４次曲線から計算した散乱放射線の強度のプロファイルを図示したものである。
【００６６】
図１８より、ピクセルNo.200 から300 の間（この部分は点９と点１４の間に該当する）で双方の強度がほぼ等しくなっているピクセルがあることが分かる。これは直接放射線が検出されておらず、Ｘ線が透過していないことになり、金属などＸ線減弱係数の大きい物質がなければこのようなことは起こらないので矛盾する。
【００６７】

したがって、この部分の散乱線補正を厳密に行うため、上記の＜１－３．　ディテクタ上の全ピクセルにおける散乱放射線の強度の計算＞に基づいて、上記２点間の強度のプロファイルの計算を追加でそれぞれ行い、散乱放射線の強度を修正する必要がある。

【００６８】

この各２点間のピクセルにおいても、鉛円板を用いた実験を行うことは可能である。しかし、矢印部分の領域においては、上記の式（３）のパラメータはあまり変化しないと考えることができる。例えば、フレームNo. 23 における点９と点１４の両方について、白画像に対する全放射線の強度の比を横軸に、全放射線に対する散乱放射線の強度の比を縦軸にとって図示したグラフ（図１０～図１５のグラフと同等）を図１９に示す。これらはいずれも１本の曲線に沿って分布しており、式（３）のパラメータは共通の値を適用できることが分かる。この曲線で算出される値を利用して、図１８の散乱放射線による強度のプロファイルを修正する。実際には、上記で示した２点間だけでなく、４点（例えば、点８、点９、点１４、及び点１４）で囲まれる領域内にＸ線減弱の大きい部分が位置する場合があるため、これを２次元に展開していく必要がある。以下、その方法について説明する。

【００６９】

点８、点９、点１４、及び点１３の４点で囲まれる領域Ｒ１（図２０参照）内にＸ線減弱の大きい部位があるので、その部位における散乱放射線の強度は、上記の＜１－３．ディテクタ上の全ピクセルにおける散乱放射線の強度の計算＞で計算した散乱放射線の強度よりも小さくなっており、その影響はその周囲の領域の強度にも及んでいると考えられる。

【００７０】

領域Ｒ１を含む縦方向の４つの各領域Ｒ１～Ｒ４すなわち１０点（点３、点８、点１３、点１８、点２３、点２４、点１９、点１４、点９、及び点４ ）で囲まれる領域を考え、図２０の領域Ｒ１～Ｒ４の縦方向の境界を示すピクセルラインＬ１及びＬ２と領域Ｒ１～Ｒ４を８等分するピクセルラインＬ１１～Ｌ１７における散乱線の強度のプロファイルを考える。

【００７１】

各ピクセルラインＬ１、Ｌ２、及びＬ１１～Ｌ１７上で、各領域Ｒ１～Ｒ４における散乱放射線の割合（全放射線強度又は直接放射線強度に対する散乱放射線強度の比）が最大となるピクセルを探し、そのときの散乱放射線の強度を図１９等に示す曲線で算出される値を利用して計算する。この強度を上記の＜１－３．　ディテクタ上の全ピクセルにおける散乱放射線の強度の計算＞で計算した散乱放射線の強度から差し引いたときの強度差を各領域Ｒ１～Ｒ４で計算する。このとき、５点（点４、点９、点１４、点１９、及び点２４） を結ぶピクセルラインＬ２上において該当するピクセル座標と強度差の関係を図２１（ａ）に示す。本実施形態では、両端のピクセルの強度差は一例として０に設定している。散乱放射線の強度はピクセルが移動するにつれて緩やかに変化するのと同様、これらの強度差も緩やかに変化するので、各ピクセルの強度差の値を、上記の値からSinカーブを利用して計算することにした。その詳細を以下に示す。なお、Sinカーブは一例であって、他の滑らかな曲線であってもよい。滑らかな曲線としては、例えば両端のピクセル間（ただし、両端は含まない）に極値が１つしか存在しない曲線を用いることができる。

【００７２】

まず、縦軸方向のピクセルラインにおける各領域上で求めたピクセルの内、強度差が最大となるピクセルが振幅の正の頂点（位相1/2π＋2nπ、n は整数）となり、最小輝度値差となる両端の座標ピクセルが振幅の負の頂点（位相3/2π＋2nπ、n は整数）となるように、他のピクセルにおける強度差を、周期の異なる２つのSinカーブを利用してそれぞれ計算する。その周期の異なる２つのSinカーブを図２１（ｂ）に示す。

【００７３】

Sinカーブの頂点となっている３つのピクセルを除いた３点の内、強度差がSinカーブより小さいピクセルは除き、他の２つのピクセルについてさらにSin カーブで計算した値と

の差を取ってグラフ化すると図２１（ｃ）に示す菱形のようになる。これらについては、頂点の両隣のピクセルを振幅の負の頂点としてSinカーブにより各ピクセルにおける値を計算すると図２１（ｃ）に示すSin カーブのようになる。

【００７４】

図２１（ｃ）に示すSin カーブは、算出されるべき強度差から図２１（ｂ）に示すSinカーブを差し引いたものについて計算されていると考えることができるから、これらの和を取ると図２１（ｄ）に示す曲線のようになり、これが算出された強度差である。上記の＜１－３．　ディテクタ上の全ピクセルにおける散乱放射線の強度の計算＞で計算した散乱放射線の強度からこれらの強度差を差し引くことにより、縦方向のピクセルラインにおける散乱放射線の強度を修正することができる。

【００７５】

以上の計算を、図２０中の縦方向４つの領域Ｒ１～Ｒ４に属する各ピクセルラインＬ１、Ｌ２、及びＬ１１～Ｌ１７上のピクセルについて、さらには残りの３箇所についても同様に縦軸方向のピクセルラインを設定して散乱放射線の強度を修正することができる。

【００７６】

そして、上述した縦軸方向の各ピクセルラインの間に位置するピクセルについては、横軸方向のピクセルライン上のピクセルにおける散乱放射線の輝度値が横軸方向に沿って線形に変化すると仮定して修正を行うものとする。

【００７７】

この修正後の散乱放射線の強度は図２２に示すような分布になった。５点（点４、点９、点１４、点１９、及び点２４）のピクセルラインＬ２上における、投影画像の強度、修正前の散乱放射線の強度、修正後の散乱放射線の強度のプロファイルはそれぞれ図２３に示すようになり、歯列部分で散乱放射線除去後の強度が極端に小さくなるということは回避されている。しかし、図２２において縦方向に筋が入っており、図中の横軸方向のピクセルラインＬ２１における散乱放射線の強度のプロファイルは図２４のようになった。プロファイルは滑らかになっておらず、散乱放射線が低周波であるという点に矛盾している。そこで、横方向については以下の手順で修正する。なお、以下に説明する横方向の修正は、上記の通り修正を行ってきた散乱放射線強度のデータのみならず、被写体のＸ線撮影で用いられるディテクタ上の各ピクセル位置における１フレーム分の散乱放射線強度のデータ全般に適用可能である。

【００７８】

まず、図２４中における横軸のピクセル座標 i（i=1,2,…）に対する縦軸の強度をBV(i)とする。また、N 個のピクセル座標X(n)（n=1,2,…,N）を考え、そのときの強度をY(n)とする。ピクセル座標 0 がX(1)に対応するとしてプロファイル上のピクセルの強度を調べていき、(BV(i)－Y(1))/(i－X(1))が最小となるピクセル座標をX(2)、強度をY(2)とする。同様に、次はピクセルX(2)から始めて(BV(i)－Y(2))/(i－X(2))が最小となるピクセル座標をX(3)、強度をY(3)とする。

【００７９】

これを繰り返すと、図２５に示すように散乱放射線の強度のプロファイルを特徴づけるＮ＝７つのピクセル座標（以下、特徴ピクセルと呼ぶ）を見つけることができる。ただし、X(7)、Y(7)だけは上記の方法にしたがっておらず、ピクセル座標が設定した値よりも大きくなったためピクセルNo.の最大値imaxをX(7)、BV(imax)をY(7)としている。一般的にディテクタの中央付近のピクセルは被写体の厚みが大きく、散乱線の強度が小さくなることからこの方法を採用した。

【００８０】

ただし、ピクセルNo. imax における全放射線の強度が白画像の当該ピクセルの強度と同程度である場合は、あらかじめ、ピクセル座標を小さくしていったときに全放射線の強度が明らかに白画像の強度よりも小さくなり始める手前のピクセル座標をX(7)、BV(X(7))をY(7)として以下の計算を行う。ピクセル座標X(7)からX(imax)の間のピクセルでは全放射線に対する直接放射線の強度の割合が等しいと考えて散乱放射線を算出する。ピクセル

No.0 が上記に該当する場合も同様である。

【００８１】

以上を一般化して、特徴ピクセルがＮ個あるとすると、その座標と強度は(X(n), Y(n))(n=1,2,…,N)となる。これらから強度がピクセル座標の変化に対して滑らかに変化するように修正したピクセルNo. iにおける強度BVr(i)を計算する。強度が滑らかに変化するためには、強度の変化量も滑らかに変化しなければならない。そこで、ピクセル座標X(i)における強度の変化をdBV(X(i))として、これが座標X(n)からX(n+1)まで変化する間dBV(X(n))からdBV(X(n+1))まで単調に変化すると仮定すると、ピクセルNo. i における強度および強度の変化量は下記の式（５）～式（１０）で表わすことができる。

【数５】

$$BVr(i) = BV\big(X(n)\big) + \sum_{j=X(n)}^{j=i}\big(dBV(i)\big) \tag{5}$$

$$dBV(i) = \left\{dbv\big(X(n)\big) + \frac{dbv\big(X(n+1)\big) - dbv\big(X(n)\big)}{X(n+1) - X(n)} \times \big(i - X(n)\big)\right\} \times r(n). \tag{6}$$

ただし、 $$dbv\big(X(n)\big) = \frac{BV(n+1) - BV(n)}{X(n+1) - X(n-1)}.$$

$$r(n) = \frac{\frac{dbv(X(n)) + dbv(X(n+1))}{2} \times \big(X(n+1) - X(n)\big)}{BV(n+1) - BV(n)}.$$

$$X(n) \le i \le X(n+1),\ 2 \le n \le N-2.$$

$$BVr(i) = BV\big(X(2)\big) + \sum_{j=i}^{j=X(2)}\big(-dBV(j)\big) + \left\{\exp\left(\frac{X(2) - i}{\frac{(X(2) - X(1))}{2}}\right) - 1\right\} \times \frac{BV\big(X(1)\big) - BV_1}{\exp(2) - 1}. \tag{7}$$

$$BV_1 = BV\big(X(2)\big) + \sum_{i=X(1)}^{i=X(2)}\big(dBV(i)\big). \tag{8}$$

ただし、 $$X(1) \le i \le X(2).$$

$$BVr(i) = BV\big(X(N-1)\big) + \sum_{j=X(N-1)}^{j=i}\big(dBV(j)\big) + \left\{\exp\left(\frac{i - X(N-1)}{\frac{(X(N) - X(N-1))}{2}}\right) - 1\right\} \times \frac{BV\big(X(N)\big) - BV_N}{\exp(2) - 1}. \tag{9}$$

$$BV_N = BV\big(X(N-1)\big) + \sum_{i=X(N-1)}^{i=X(N)}\big(dBV(i)\big). \tag{10}$$

ただし、 $$X(N-1) \le i \le X(N).$$

【００８２】

ここで、dbv(X(n))は、隣接する特徴ピクセルにおける強度の変化量、r(n)は、その強度の変化量がピクセル座標X(n)からX(n+1)まで単調に変化したと仮定した場合の強度の変化量と、実際の輝度値変化BV(n+1)－BV(n)の割合である。

【００８３】

X(1) ≦ i ≦ X(2)の場合においては、dbv(X(n))の計算ができないので、n=2 の場合分けで使用した式（５）にこの範囲のi の値を代入して計算して得られるBVr(i)に補正項を加えることにより、BVr(i)を計算する。その補正項は、指数関数を使用し、ピクセル座標X(2)では強度変化dBV(i)が滑らかに変化し、かつ、座標X(1)においては強度が一致するように係数の値を調整した。X(N - 1) ≦ i ≦ X(N)の場合も同様の計算を行う。

【００８４】

このようにして修正することにより、図２４に示された散乱放射線の強度は、図２６に示す破線のようになる。

【００８５】

以上の計算を、縦軸方向と同様に、２５箇所のピクセル位置で囲まれる横方向の４つの

領域のそれぞれについてさらに縦方向に8 等分する横軸方向のピクセルライン上で行う。横軸方向の各ピクセルライン間に位置するピクセルについては、縦軸方向のピクセルライン上のピクセルにおける散乱放射線の輝度値が縦軸方向に沿って線形に変化すると仮定して修正を行うものとする。

【００８６】

そして、最後に画像全体の平滑化を行うことにより散乱放射線の強度の修正を行う。この散乱放射線の強度を現すイメージは図２７のようになる。そして、図２７中の縦軸方向のピクセルラインＬ２及び横軸方向のピクセルラインＬ２１上の各ピクセルにおける散乱放射線の強度のプロファイルは図２８（ａ）及び図２８（ｂ）のようになった。縦軸方向、横軸方向ともに強度変化が滑らかになっている。

【００８７】

＜８．散乱線補正装置＞

図２９は、本発明の一実施形態に係る散乱線補正装置１００の構成を示す図である。

【００８８】

散乱線補正装置１００は、ＲＯＭ１２やＨＤＤ１７に格納されているプログラムに従って散乱線補正装置１００全体を制御するＣＰＵ１１と、固定的なプログラムやデータを記録するＲＯＭ１２と、作業メモリを提供するＲＡＭ１３と、外部との通信を行うための通信インターフェース部１４と、画像データを一時的に記憶するＶＲＡＭ１５と、ＶＲＡＭ１５に記憶された画像データに基づいて画像を表示する表示部１６と、詳細は後述するＨＤＤ１７と、キーボード、ポインティングデバイス等の操作部１８とを備えている。

【００８９】

散乱線補正装置１００の通信インターフェース部１４と外部との通信方法は、有線通信でもよく、無線通信でもよく、有線と無線を組み合わせた通信であってもよい。散乱線補正装置１００としては、例えば、パーソナルコンピュータを挙げることができる。

【００９０】

ＨＤＤ１７は、画像再構成処理プログラム、散乱線補正プログラム等の各種プログラム、及び、歯科用Ｘ線撮影装置によるＣＴ撮影の撮影データ（測定画像）、上記画像再構成処理プログラムによって生成された再構成ボリュームデータ、各種プログラムを実行する際に用いられる各種パラメータの設定値等の各種データを記憶する。

【００９１】

また、散乱線補正装置１００は、ディテクタからの情報を取得して測定画像を生成し、その生成した測定画像をＨＤＤ１７に記憶してもよく、通信インターフェース部１４を用いて外部から測定画像を取得し、その取得した測定画像をＨＤＤ１７に記憶してもよい。外部の装置がＣＴ再構成をおこなってもよい。この場合、本実施形態とは異なりＨＤＤ１７が画像再構成処理プログラムを記憶しない構成にすることが可能であり、散乱線補正装置１００が散乱線補正後の測定画像を、ＣＴ再構成を行う外部の装置に送信すればよい。

【００９２】

画像再構成処理プログラムは、歯科用Ｘ線撮影装置によるＣＴ撮影の撮影データを再構成して再構成ボリュームデータを生成するためのプログラムである。散乱線補正プログラムは、散乱線補正を行うためのプログラムである。なお、散乱線補正プログラムは、散乱線強度を算出し修正する散乱線強度算出プログラムを含む。

【００９３】

ＨＤＤ１７に記憶されている各プログラムは、散乱線補正装置１００にプリインストールされていてもよく、光ディスク等の記憶媒体に格納された形態で流通されて散乱線補正装置１００にインストールされてもよく、ネットワークを介して流通されて散乱線補正装置１００にインストールされてもよい。ＨＤＤ１７に記憶されている各プログラム及び各データの一部を、ＨＤＤ１７ではなくＲＯＭ１２に記憶するようにしてもよい。

【００９４】

ＨＤＤ１７は、被写体のＸ線撮影で用いられるディテクタ上の特定のピクセル位置（例えば図４に示す２５箇所の黒丸部分）の特定のフレーム（例えば上述した５１０個のフレ

ーム）における全放射線強度又は直接放射線強度に対する散乱放射線強度の算出結果（例えば上述した外挿データ）の比と、特定のフレームでの被写体を設けないＸ線撮影で特定のピクセル位置で検出される全放射線強度に対する特定のフレームでの被写体のＸ線撮影で前記特定のピクセル位置で検出される全放射線強度の比との関係を示す曲線式のパラメータ（例えば上述したパラメータａ及びパラメータｂ）を記憶する。ＨＤＤ１７に記憶されている散乱線補正プログラムは、ＣＰＵ１１で実行されることで散乱線補正装置１００のハードウェアを、特定のピクセル位置の特定のフレームにおいて、被写体のＸ線撮影で検出される全放射線強度又は直接放射線強度に対する散乱放射線強度の比を算出する算出部、修正部、並びに、当該算出部の算出結果及び当該修正部の修正結果に基づいて測定画像に対して散乱線補正を行う補正部、として機能させる。さらに、ＨＤＤ１７は、例えば上述した式（２）又は当該式（２）から算出される補間データを記憶する。なお、ＨＤＤ１７に記憶されている散乱線強度算出プログラムは、ＣＰＵ１１で実行されることで散乱線補正装置１００のハードウェアを、上記の算出部及び修正部として機能させる。すなわち、散乱線補正プログラムのうち散乱線強度算出プログラムのみを実行した場合、散乱線補正装置１００は、散乱線強度を算出し修正する散乱線強度算出装置となる。

【００９５】
以上、本発明の一実施形態について説明したが、本発明の範囲はこれに限定されるものではなく、発明の主旨を逸脱しない範囲で種々の変更を加えて実施することができる。

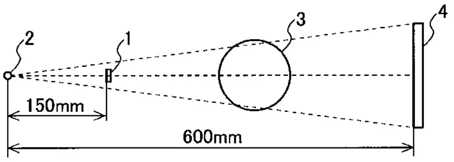
【００９６】
例えば、鉛円板の代わりに、円形状以外の形状（例えば矩形形状）である鉛板材を用いてもよい。また、鉛以外のＸ線吸収材を用いてもよい。また、上述した実施形態のように散乱放射線の外挿データを求めるのではなく、微小な貫通孔を有するＸ線吸収材を用いて特定のピクセル位置の直接放射線を求めるようにしてもよい。

【００９７】
例えば、上述した実施形態では、頭部ファントムにインプラント等の金属を含めていないが、頭部ファントムにインプラント等の金属を含めてもよい。

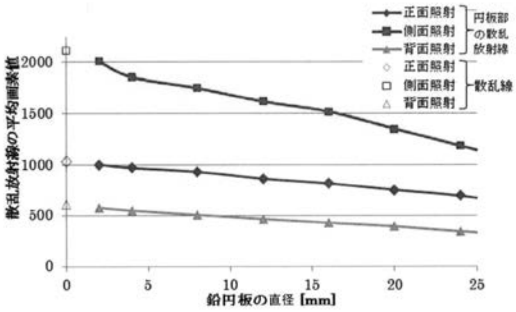
【符号の説明】

【００９８】
１００　散乱線補正装置
１１　ＣＰＵ
１２　ＲＯＭ
１３　ＲＡＭ
１４　通信インターフェース部
１５　ＶＲＡＭ
１６　表示部
１７　ＨＤＤ
１８　操作部

【図１】



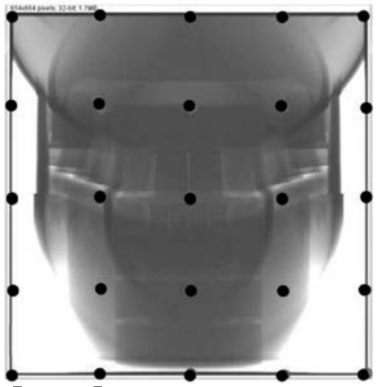
【図２】



【図３】

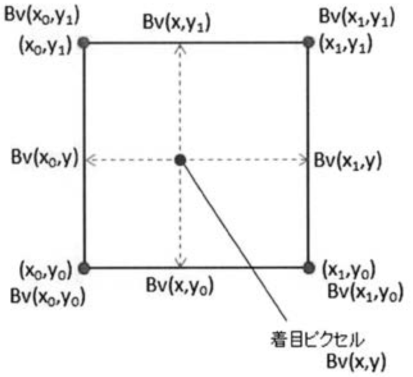
	近似方法(Ⅰ)での誤差	近似方法(Ⅱ)での誤差	近似方法(Ⅲ)での誤差
正面照射	1.54%	0.63%	0.30%
側面照射	1.81%	0.20%	3.18%
背面照射	2.53%	1.11%	1.39%

【図４】

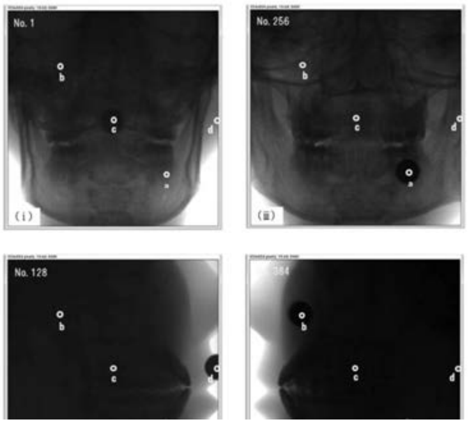


【図５】

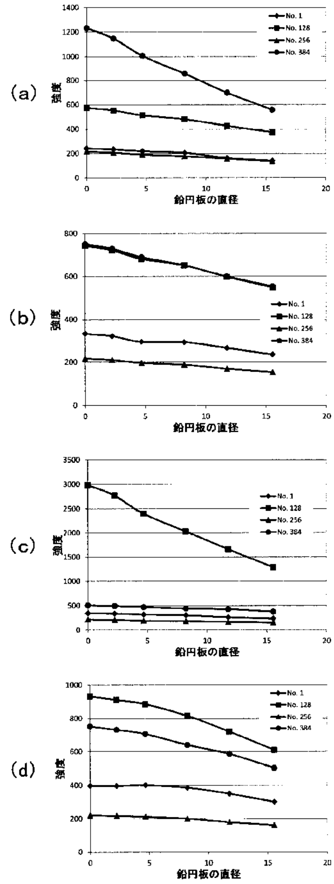
【図６】



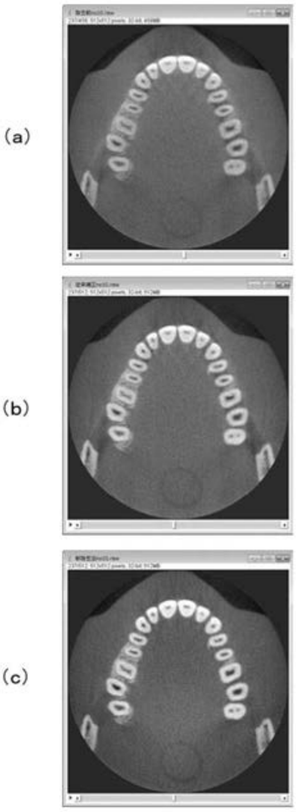
【図７】



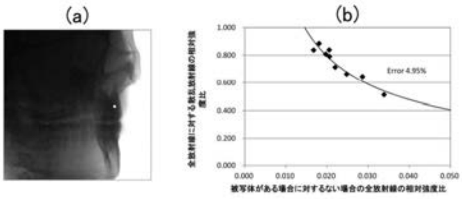
【図８】



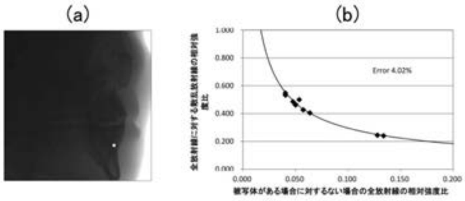
【図９】



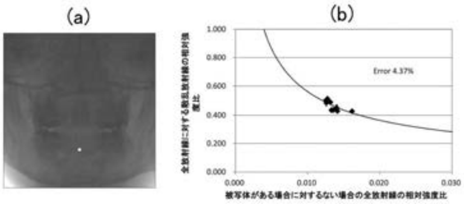
【図１０】



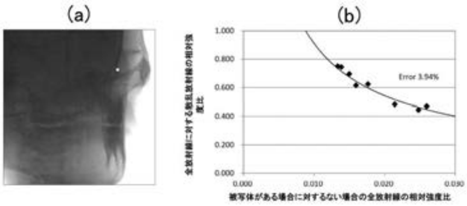
【図１１】



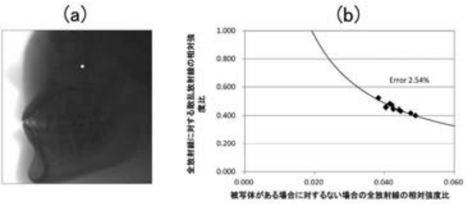
【図１２】



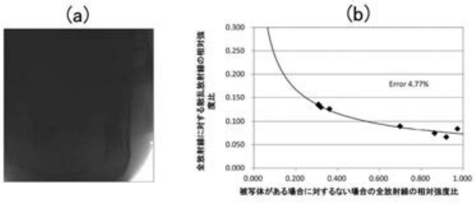
【図１３】



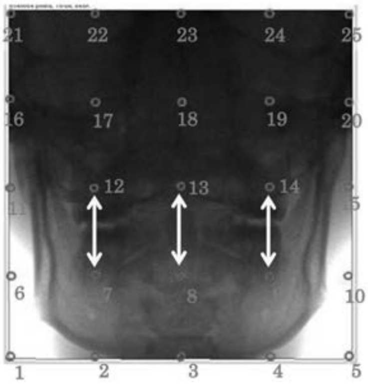
【図１４】



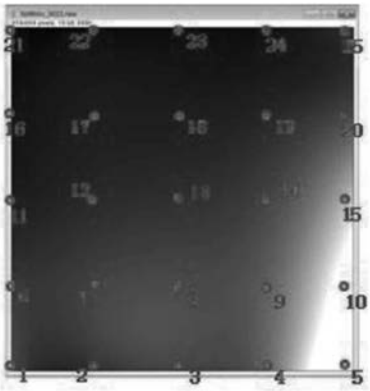
【図１５】



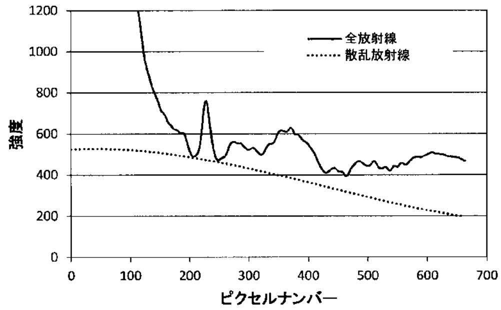
【図１６】



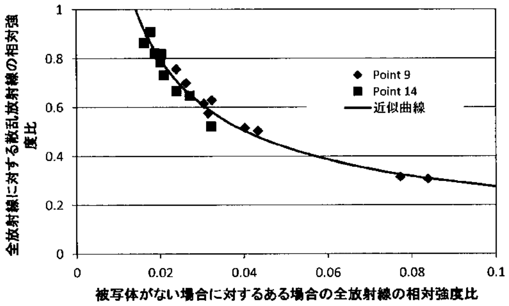
【図１７】



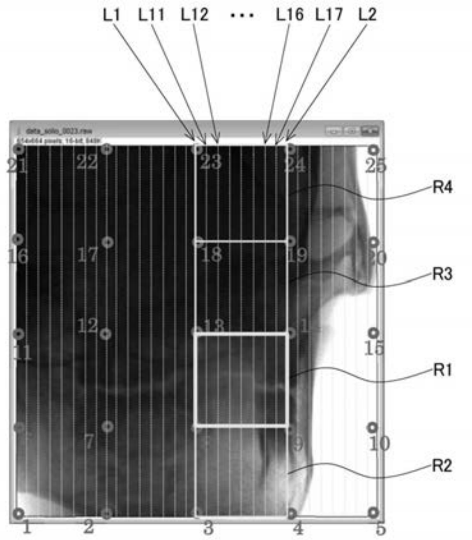
【図１８】



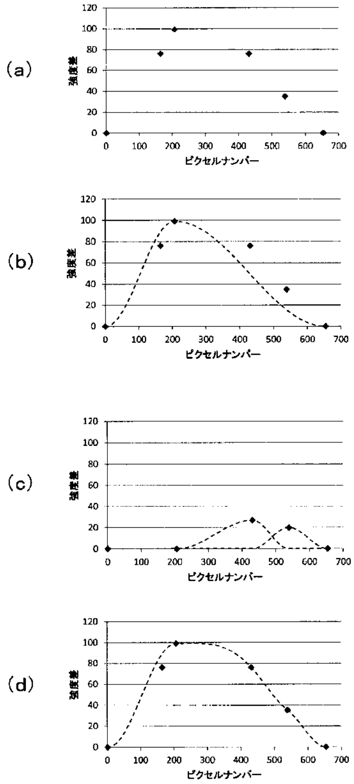
【図１９】



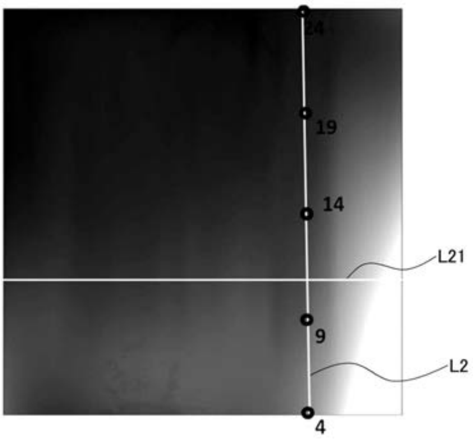
【図２０】



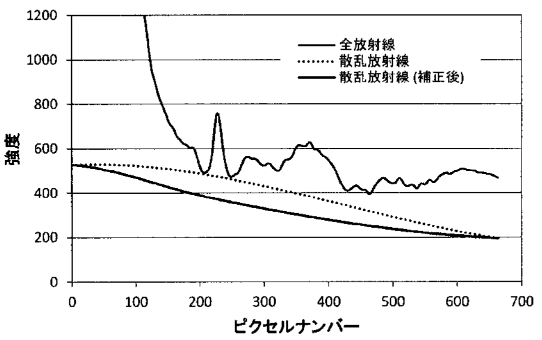
【図２１】



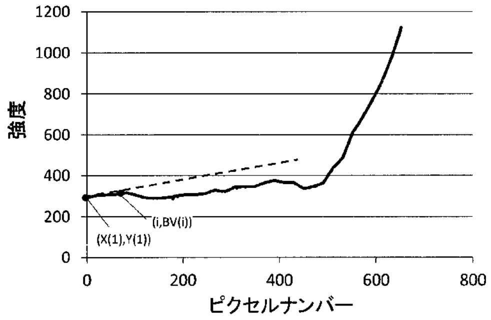
【図２２】



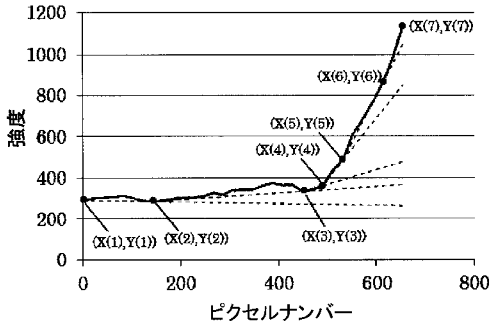
【図２３】



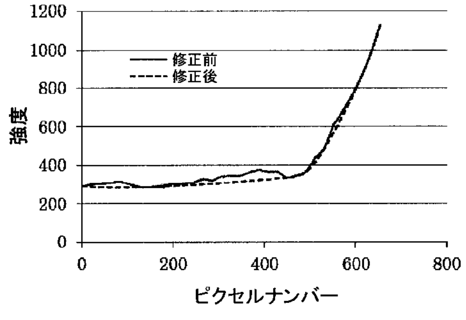
【図２４】



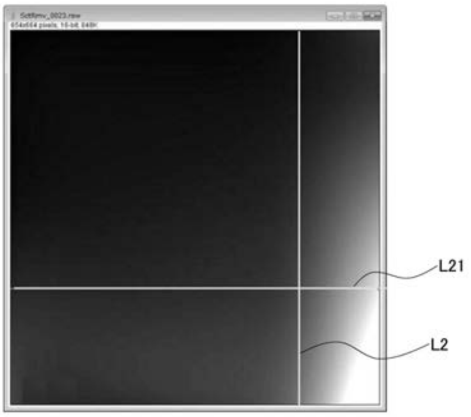
【図２５】



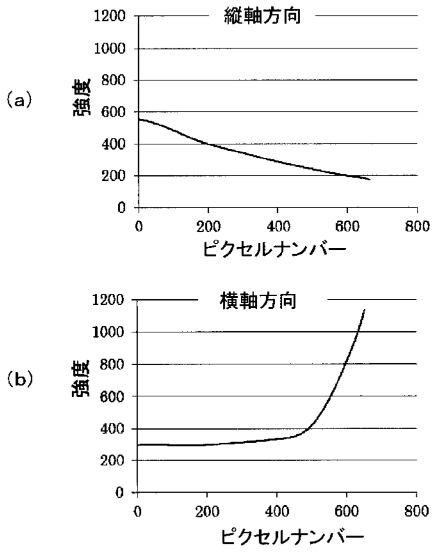
【図２６】



【図２７】

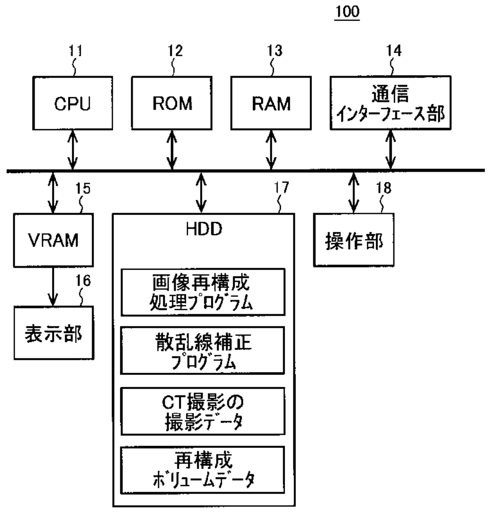


【図２８】



(a)
縦軸方向
強度
1200
1000
800
600
400
200
0
0
200
400
600
800
ピクセルナンバー
(b)
横軸方向
強度
1200
1000
800
600
400
200
0
0
200
400
600
800
ピクセルナンバー

【図２９】



100
11
CPU
12
ROM
13
RAM
14
通信
インターフェース部
15
VRAM
16
表示部
17
HDD
画像再構成
処理プログラム
散乱線補正
プログラム
CT撮影の
撮影データ
再構成
ボリュームデータ
18
操作部