

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第4806441号
(P4806441)

(45) 発行日 平成23年11月2日(2011.11.2)

(24) 登録日 平成23年8月19日(2011.8.19)

(51) Int.Cl.

F I

GO 1 N 23/04 (2006.01)

GO 1 N 23/04

請求項の数 22 (全 24 頁)

(21) 出願番号	特願2008-292178 (P2008-292178)	(73) 特許権者	503414751
(22) 出願日	平成20年11月14日(2008.11.14)		同方威視技術股▲分▼有限公司
(65) 公開番号	特開2009-122108 (P2009-122108A)		中華人民共和国 北京市海澱區雙清路同方
(43) 公開日	平成21年6月4日(2009.6.4)		大廈A座2層 100084
審査請求日	平成20年11月14日(2008.11.14)	(73) 特許権者	502192546
(31) 優先権主張番号	200710177405.2		清華大学
(32) 優先日	平成19年11月15日(2007.11.15)		中華人民共和国北京市海澱區清華大学 郵
(33) 優先権主張国	中国 (CN)		編 100084
		(74) 代理人	100101454
			弁理士 山田 卓二
		(74) 代理人	100081422
			弁理士 田中 光雄
		(74) 代理人	100098280
			弁理士 石野 正弘

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 物質識別方法および物質識別機器

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

高エネルギー放射線と低エネルギー放射線とで被検体を透過させて、各画素の値が高エネルギー放射線の被検体の該当部分に対する高エネルギー透過度 (TH) を示す被検体の高エネルギー透過画像と、各画素の値が低エネルギー放射線の被検体の該当部分に対する低エネルギー透過度 (TL) を示す被検体の低エネルギー透過画像とを取得するステップと、

各画素ごとに、前記高エネルギー透過度 (TH) の次式で表される第1の関数の値 (alpha H) と、前記高エネルギー透過度及び前記低エネルギー透過度 (TL) の次式で表される第2の関数の値 (alpha L) とを算出するステップと、

前記第1の関数の値及び前記第2の関数の値によって特定される位置を、予め作成した分類曲線で分類し、各画素に対応する被検体の該当部分の物質のタイプを識別するステップと、

所定のサイズを有する隣接領域を設定するステップと、

各画素の隣接領域ごとに、前記高エネルギー画像と前記低エネルギー画像とに対して雑音低減を行うステップとを有し、

前記の各画素の隣接領域ごとに前記高エネルギー画像と前記低エネルギー画像とに対して雑音低減を行うステップは、

隣接領域において類似画素として中心画素と似る画素を捜すステップと、

隣接領域中の類似画素を加重平均するステップと、を含む物質識別方法。

$$\frac{\alpha_H = (1 - \log(T_H)) \times k}{\alpha_L = (1 - \log(T_L)) \times k} \quad (k \text{ は所定の定数})$$

【請求項 2】

前記類似画素の高エネルギー透明度及び低エネルギー透明度と、前記中心画素の高エネルギー透明度及び低エネルギー透明度との差は所定値を下回ることを特徴とする請求項 1 に記載の方法。

【請求項 3】

前記被検体を有機物、軽金属、無機物、または重金属に識別することを特徴とする請求項 1 に記載の方法。

【請求項 4】

識別結果をカラー化して表示するステップをさらに含むことを特徴とする請求項 3 に記載の方法。

【請求項 5】

前記のカラー化して表示するステップは、
各画素ごとに高エネルギー透明度と低エネルギー透明度とを加重平均して、該画素の融合階調値とするステップと、

被検体の該画素に対応する部分の材料のタイプに応じて、カラーの色調を特定するステップと、

該画素の融合階調値に応じて前記画素の輝度レベルを確定するステップと、

前記色調と前記輝度レベルとをインデックスとして、該画素の R 値、G 値、B 値を予め作成した検索テーブルから取得するステップと、を含むことを特徴とする請求項 4 に記載の方法。

【請求項 6】

前記被検体の該画素に対応する部分の材料のタイプに応じてカラーの色調を特定するステップは、橙色を有機物に、緑色を軽金属に、青色を無機物に、紫色を重金属に、それぞれ付与することを含むことを特徴とする請求項 5 に記載の方法。

【請求項 7】

放射線源からの放射線をエネルギースペクトル整形することで、高エネルギー放射線と低エネルギー放射線との間のエネルギースペクトル差を大きくするステップをさらに含むことを特徴とする請求項 1 に記載の方法。

【請求項 8】

各種の較正材料ごとに、

高エネルギー放射線と低エネルギー放射線とで異なる厚さを有する較正材料を照射することで、該当する高エネルギー透明度と低エネルギー透明度とを獲得するステップと、

高エネルギー透明度の第 1 の関数を横座標とし、低エネルギー透明度及び高エネルギー透明度の第 2 の関数を縦座標とすることで、異なる厚さを有する較正材料のスポットを形成するステップと、

前記スポットに基づいて前記分類曲線を形成するステップとを、
実行することで、前記分類曲線を作成することを特徴とする請求項 1 に記載の方法。

【請求項 9】

前記スポットに基づいて前記分類曲線を形成するステップは、
最小二乗曲線フィッティング法で前記スポットに対して曲線フィッティングを実行することを特徴とする請求項 8 に記載の方法。

【請求項 10】

前記スポットに基づいて前記分類曲線を形成するステップは、
チェビシェフの最適のフィッティング多項式を利用して前記スポットに対して曲線フィッティングを実行することを含むことを特徴とする請求項 8 に記載の方法。

【請求項 11】

前記分類曲線を離散化するステップをさらに含むことを特徴とする請求項 8 に記載の方法。

10

20

30

40

50

【請求項 1 2】

高エネルギー放射線と低エネルギー放射線とで被検体を透過させて、各画素の値が高エネルギー放射線の被検体の該当部分に対する高エネルギー透明度 (T H) を示す被検体の高エネルギー透過画像と、各画素の値が低エネルギー放射線の被検体の該当部分に対する低エネルギー透明度 (T L) を示す被検体の低エネルギー透過画像とを取得する画像形成手段と、

各画素ごとに、前記高エネルギー透明度 (T H) の次式で表される第 1 の関数の値 (alpha H) と前記高エネルギー透明度及び前記低エネルギー透明度 (T L) の次式で表される第 2 の関数の値 (alpha L) を算出する算出手段と、

前記第 1 の関数の値及び前記第 2 の関数の値によって特定される位置を、予め作成した分類曲線で分類し、各画素に対応する被検体の該当部分の物質のタイプを識別する分類手段と、

所定のサイズを有する隣接領域を設定する手段と、

各画素の隣接領域ごとに、前記高エネルギー画像と前記低エネルギー画像とに対して雑音低減を行う手段とを有し、

前記の各画素の隣接領域ごとに前記高エネルギー画像と前記低エネルギー画像とに対して雑音低減を行う手段は、

隣接領域において類似画素として中心画素と似る画素を捜す手段と、

隣接領域中の類似画素を加重平均する手段と、を含むことを特徴とする物質識別機器。

$$\alpha H = (1 - \log (T H)) \times k$$

$$\alpha L = (1 - \log (T L)) \times k \quad (k \text{ は所定の定数 })$$

【請求項 1 3】

前記類似画素の高エネルギー透明度及び低エネルギー透明度と、前記中心画素の高エネルギー透明度及び低エネルギー透明度との差は所定値を下回ることを特徴とする請求項 1 2 に記載の機器。

【請求項 1 4】

前記被検体を有機物、軽金属、無機物、または重金属に識別することを特徴とする請求項 1 2 に記載の機器。

【請求項 1 5】

識別結果をカラー化して表示する手段をさらに含むことを特徴とする請求項 1 4 に記載の機器。

【請求項 1 6】

前記の識別結果をカラー化して表示する手段は、

各画素ごとに高エネルギー透明度と低エネルギー透明度とを加重平均して、該画素の融合階調値とする手段と、

被検体の該画素に対応する部分の材料のタイプに応じて、カラーの色調を特定する手段と、

該画素の融合階調値に応じて前記画素の輝度レベルを確定する手段と、

前記色調と前記輝度レベルとをインデックスとして、該画素の R 値、G 値、B 値を予め作成した検索テーブルから取得する手段と、を含むことを特徴とする請求項 1 5 に記載の機器。

【請求項 1 7】

橙色を有機物に、緑色を軽金属に、青色を無機物に、紫色を重金属に、それぞれ付与することを特徴とする請求項 1 6 に記載の機器。

【請求項 1 8】

放射線源からの放射線をエネルギースペクトル整形することで、高エネルギー放射線と低エネルギー放射線との間のエネルギースペクトル差を大きくすることを特徴とする請求項 1 2 に記載の機器。

【請求項 1 9】

各種の校正材料ごとに、

10

20

30

40

50

高エネルギー放射線と低エネルギー放射線とで異なる厚さを有する較正材料を照射することで、該当する高エネルギー透明度と低エネルギー透明度とを獲得するステップと、

高エネルギー透明度の第1の関数を横座標とし、低エネルギー透明度及び高エネルギー透明度の第2の関数を縦座標とすることで、異なる厚さを有する較正材料のスポットを形成するステップと、

前記スポットに基づいて前記分類曲線を形成するステップとを、
実行することで、前記分類曲線を作成することを特徴とする請求項12に記載の機器。

【請求項20】

最小二乗曲線フィッティング法で前記スポットに対して曲線フィッティングを実行することを特徴とする請求項19に記載の機器。

10

【請求項21】

チェビシェフの最適のフィッティング多項式を利用して前記スポットに対して曲線フィッティングを実行することを特徴とする請求項19に記載の機器。

【請求項22】

前記分類曲線を離散化することを特徴とする請求項19に記載の機器。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、放射結像技術に関し、特に、被検体の透過画像だけでなく、被検体中の材料情報も取得でき、高エネルギーX線二重エネルギー結像検査システムに適用される物質識別方法および物質識別機器に関する。

20

【背景技術】

【0002】

コンテナ化輸送は近代化、先進的な輸送方式であって、国際貨物輸送のトレンドになる。それとともに、コンテナを利用して密輸し、銃砲、武器、麻薬、爆発物、さらに大量破壊兵器(Weapons of Mass Destruction, WMD)及び放射性分散装置(Radiological Dispersal Devices, RDD)を密輸することは、世界各国を当惑し、国際貨物輸送の秩序を乱す国際公害になっている。

【0003】

米国の911事件後、貨物輸送の潜在リスクが米国政府に重視されている。WMDとRDDがコンテナにて米国に輸送されたというリスクを防犯するために、2001年1月17日、米国税関は「コンテナ安全意にイニシアチブ」(Container Security Initiative, CSI)を發布して、米国港口と直接に通航する業務を有する外国港口全体に対して非侵入型X()線走査結像装置を配置し米国向けコンテナを放射線走査で調べることを要求する。CSIが公布された1年間で、18箇所の世界中の大港口がCSI港湾になり、実行を開始している。国際輸送に安全要求が高められつつある環境において、世界税関組織は決議を全員一致で可決され、CSIモードにしたがってコンテナ安全検査に関する計画を進めることを、161箇所の加盟国全体に要求した。

30

【0004】

現在、コンテナ用のX()線安全検査装置は主に透過結像手段を利用し、X線を貨物に透過させることによってX線の経路中の全ての物の透過画像を取得する。標準の透過結像技術はコンテナの可視化を図るので、広く応用された。しかし、このような装置は、以下の欠点があり、すなわち(1)二次元の構成情報が放射線経路中の重なる物品に影響されやすい、(2)密度情報が含まれない、(3)材料情報が含まれない。

40

【0005】

「密輸検査」要求に対して、税関申告書とコンテナの高エネルギーX線走査画像とを照合して一致するかどうかを確認するのは、主に採用される方式である。税関申告書は先験知識であり、標準のX線透過結像技術を利用することで、この要求が満たされた。しかし、CSIの提出により、コンテナ検査要求は密輸品の検査(単に「密輸検査」に記す)から危険品・禁止品の検査(単に「危禁検査」に記す)に発展した。危険品・禁止品は種類

50

が多く、固定の形状もないので、被検コンテナ中の物品に対する先験知識はなくなった。したがって、標準のX線透過結像技術しか利用しないと、コンテナの安全検査の要求を満たしにくい。

【0006】

WMD、RDD及び他の危険品・禁止品の特徴に基づいて豊富の被検体の特徴情報を獲得するだけで、正確、有効な安全検査が可能になる。ダブルエネルギー技術は、スペクトルが異なる二つのX線を被検体を透過させ、出力情報の差異を処理して被検体材料の原子番号を取得する。したがって、この技術を利用することで、安全検査のレベルがある程度に向上された。高エネルギーX線結像コンテナ検査システムに対して材料区分能力を希望する。

10

【0007】

X線のエネルギーは200keVより低い場合、二重エネルギー技術は非常に有効であり、荷物検査に広く応用されている。しかし、コンテナを透過できるX線のエネルギーは数MVになり、同じ質量と異なる厚さを有する異なる材料、例えば、C、Al、Feにたいして、このエネルギー範囲においての減衰が放射線の減衰に対する影響は低い。したがって、低エネルギーX線技術に比べて、高エネルギーX線による材料区分能力ははるかに低い。X線のエネルギーが200keVより高い場合、二重結像技術はほとんど効果を有しなく、コンテナ検査システムに適用できないという考えも、一部のコンテナ検査システムの専門家に存在している。

【発明の開示】

20

【発明が解決しようとする課題】

【0008】

本発明は、高エネルギーX線による二重エネルギー結像コンテナ検査システムにおいてリアルタイムに材料を識別することを解決し、二重階調融合とカラー化などのアルゴリズムを利用して材料区分及び階調情報可視化する、エネルギースペクトル整形装置及び自動較正装置による物質識別システムを提供する。

【0009】

従来の高エネルギーX線結像と比べると、本システムは取得された二重エネルギー画像を利用して、高透過能力と高コントラスト感度を有する融合画像を獲得できるとともに、貨物の材料情報を獲得できるので、爆発物、麻薬、さらに放射性物などの危険品・禁止品に対して識別能力を有し、コンテナの安全検査能力を向上させる。

30

【0010】

また、従来の高エネルギーX線結像システムからのグレー又は疑似カラー画像と比べて、本発明の高エネルギーX線による二重エネルギー結像システムが材料区分カラー画像を出力することで、人眼の視覚利点を利用してより多い情報をユーザに伝達する。

【課題を解決するための手段】

【0011】

本発明の一つの側面によれば、高エネルギー放射線と低エネルギー放射線とで被検体を透過させて、各画素の値が高エネルギー放射線の被検体の該当部分に対する高エネルギー透過度を示す被検体の高エネルギー透過画像と、各画素の値が低エネルギー放射線の被検体の該当部分に対する低エネルギー透過度を示す被検体の低エネルギー透過画像とを取得するステップと、各画素ごとに、前記高エネルギー透過度の第1の関数の値と前記高エネルギー透過度及び前記低エネルギー透過度の第2の関数の値を算出するステップと、前記第1の関数の値及び前記第2の関数の値によって特定される位置を、予め作成した分類曲線で分類し、各画素に対応する被検体の該当部分の物質のタイプを識別するステップと、を含む物質識別方法を提供する。

40

【0012】

本発明の実施例によれば、前記方法は、所定のサイズを有する隣接領域を設定するステップと、各画素の隣接領域ごとに、前記高エネルギー画像と前記低エネルギー画像とに対して雑音低減を行うステップと、をさらに含める。

50

【 0 0 1 3 】

本発明の実施例によれば、前記の各画素の隣接領域ごとに前記高エネルギー画像と前記低エネルギー画像に対して雑音低減を行うステップは、隣接領域において類似画素として中心画素と似る画素を捜すステップと、隣接領域中の類似画素を加重平均するステップと、を含む。

【 0 0 1 4 】

本発明の実施例によれば、前記類似画素の高エネルギー透明度及び低エネルギー透明度と、前記中心画素の高エネルギー透明度及び低エネルギー透明度との差は所定値を下回る。

【 0 0 1 5 】

本発明の実施例によれば、前記被検体を有機物、軽金属、無機物、または重金属に識別する。

【 0 0 1 6 】

本発明の実施例によれば、識別結果をカラー化して表示するステップをさらに含む。

【 0 0 1 7 】

本発明の実施例によれば、前記のカラー化して表示するステップは、各画素ごとに高エネルギー透明度と低エネルギー透明度とを加重平均して、該画素の融合階調値とするステップと、被検体の該画素に対応する部分の材料のタイプに応じて、カラーの色調を特定するステップと、該画素の融合階調値に応じて前記画素の輝度レベルを確定するステップと、前記色調と前記輝度レベルをインデックスとして、該画素の R 値、G 値、B 値を予め作成した検索テーブルから取得するステップと、を含む。

【 0 0 1 8 】

本発明の実施例によれば、前記被検体の該画素に対応する部分の材料のタイプに応じてカラーの色調を特定するステップは、橙色を有機物に、緑色を軽金属に、青色を無機物に、紫色を重金属に、それぞれ付与することを含む。

【 0 0 1 9 】

本発明の実施例によれば、放射線源からの放射線をエネルギースペクトル整形することで、高エネルギー放射線と低エネルギー放射線との間のエネルギースペクトル差を大きくするステップをさらに含む。

【 0 0 2 0 】

本発明の実施例によれば、各種の較正材料ごとに、高エネルギー放射線と低エネルギー放射線で異なる厚さを有する較正材料を照射することで、対応の高エネルギー透明度と低エネルギー透明度を獲得するステップと、高エネルギー透明度の第 1 の関数を横座標とし、低エネルギー透明度と高エネルギー透明度の第 2 の関数を縦座標とすることで、異なる厚さを有する較正材料のスポット（点）を形成するステップと、前記スポットに基づいて前記分類曲線を形成するステップとを、実行することで、前記分類曲線を作成する。本発明の実施例によれば、前記のスポットに基づいて前記分類曲線を形成するステップは、最小二乗曲線フィッティング法で前記スポットに対して曲線フィッティングを実行する。

【 0 0 2 1 】

本発明の実施例によれば、前記スポットに基づいて前記分類曲線を形成するステップは、チェビシェフの最適のフィッティング多項式を利用して前記スポットに対して曲線フィッティングを実行する。

【 0 0 2 2 】

本発明の実施例によれば、前記分類曲線を離散化するステップをさらに含む。

【 0 0 2 3 】

本発明の別の側面は、高エネルギー放射線と低エネルギー放射線とで被検体を透過させて、各画素の値が高エネルギー放射線の被検体の該当部分に対する高エネルギー透明度を示す被検体の高エネルギー透過画像と、各画素の値が低エネルギー放射線の被検体の該当部分に対する低エネルギー透明度を示す被検体の低エネルギー透過画像とを取得する画像

10

20

30

40

50

形成手段と、各画素ごとに、前記高エネルギー透明度の第1の関数の値と前記高エネルギー透明度及び前記低エネルギー透明度の第2の関数の値を算出する算出手段と、前記第1の関数の値及び前記第2の関数の値によって特定される位置を、予め作成した分類曲線で分類し、各画素に対応する被検体の該当部分の物質のタイプを識別する分類手段と、を含む物質識別機器を提供する。

【0024】

本発明の実施例によれば、前記機器は所定のサイズを有する隣接領域を設定する手段と、各画素の隣接領域ごとに、前記高エネルギー画像と前記低エネルギー画像に対して雑音低減を行う手段と、をさらに含む。

【0025】

本発明の実施例によれば、前記各画素の隣接領域ごとに前記高エネルギー画像と前記低エネルギー画像とに対して雑音低減を行う手段は、隣接領域において類似画素として中心画素と似る画素を捜す手段と、隣接領域中の類似画素を加重平均する手段と、を含む。

【0026】

本発明の物質識別サブシステムは高エネルギーX線による二重エネルギー結像コンテナ検査システムに内装され、エネルギースペクトル整形装置の設計によって放射線のエネルギースペクトルを整形し、材料の区分能力を向上した。また、較正装置の設計により、システム状態をリアルタイムにモニターして最適な分類パラメータを獲得し、材料区分への基盤になる。また、材料区分モジュールに高速な識別アルゴリズムと画像の雑音低減アルゴリズムとを結合することで、アルゴリズムのリアルタイム性を維持するとともに、統計変動の影響をよく低減して材料区分の正確率を確保する。

【0027】

さらに、本物質識別システムは、階調融合アルゴリズムを利用して、透過能力とコントラスト感度とを両立する融合画像を獲得し、階調の側面から見ても単一エネルギーシステムより多い情報を得る。

【0028】

本発明は、材料区分の結果と融合階調図を得ると、さらにカラー表示モジュールにより、オリジナル二重エネルギー透過データを入力とし、RGBカラー表示データを出力することで、データ処理過程中的完備性を確保する。

【0029】

さらに、本発明はリアルタイム動作のために、各アルゴリズムを最適化することで、動作速度が速く、リアルタイム性が優れる。

【0030】

本発明は、高エネルギーX線による二重エネルギー検査システムの材料区分能力不足という課題を解決でき、優れた材料区分効果とカラー表示効果を有し、操作可能性がよく、動作速度が速く、高い実用価値を有する。

【発明を実施するための最良の形態】

【0031】

以下、本発明の上記及び他の目的、特徴、利点をいっそう明確にするように、本発明の望ましい実施形態を図面を参照しながら説明する。

【0032】

以下、本発明の望ましい実施形態を、図面を参照しながら説明する。本発明の理解を単純化するため、不必要な機能や構造について詳しい説明を省略する。

【0033】

本発明の実施形態による物質識別装置は、ハードウェア部とデータ処理アルゴリズムとを備える。物質識別装置は、高エネルギーX線による二重エネルギー結像コンテナ検査システム(2種類の高エネルギーX線により撮像するコンテナ検査システム)に内装されたサブシステムであって、高エネルギー・二重エネルギー透過データに基づいて材料を識別する。

【0034】

10

20

30

40

50

説明の便利のために、以下、高エネルギー X 線による二重エネルギーのうち、高いエネルギーを有する放射線を高エネルギーレベルの X 線、低いエネルギーを有する放射線を低エネルギーレベルの X 線とそれぞれ記す。高エネルギー X 線による二重エネルギー結像コンテナ検査システムは、エネルギーレベルを適切に選択することを前提とする。高エネルギー X 線による二重エネルギーは、一般的に $3 \text{ MeV} \sim 10 \text{ MeV}$ という選択範囲を有する。理論的には、適切なエネルギー範囲において、エネルギー差が大きいほど、材料の識別能力は高い。しかし、エネルギー差が大きすぎると、高エネルギーレベルと低エネルギーレベル放射線の透過能力の差も大きすぎ、材料を識別可能な有効範囲が狭くなる。

【0035】

図 1 A と図 1 B は高エネルギー X 線による二重エネルギー結像コンテナ検査システムを示す図である。図 1 A に示すように、高エネルギー X 線による二重エネルギー結像コンテナ検査システムは、放射線発生装置 10 と、機械伝動装置（機械式搬送装置、図示せず）と、コンテナなどの被検体 20 と、データ採集（データ収集）サブシステム 30 と、走査制御コンピュータ及びデータ処理コンピュータ（図示せず）を含む。

10

【0036】

放射線発生装置 10 は二重エネルギー加速器及び他の補機（付属装置）を有し、高い頻度で（高レベルの）二種類のエネルギーを備える X 線ビームを交互に発生する。機械伝動装置は、コンテナ 20 に対して放射線発生装置 10 をデータ採集サブシステム 30 と一緒に水平方向に沿って移動させる。

【0037】

20

放射線発生装置 10 とデータ採集サブシステム 30 を静止させ、コンテナ 20 を移動させてもよいし、コンテナ 20 を静止させ、放射線発生装置 10 とデータ採集サブシステム 30 を移動させてもよい。

【0038】

データ採集サブシステム 30 は、放射線発生装置 10 が発生した二重エネルギー X 線が被検体を透過した後の放射線を探知し、二重エネルギー透過データを作成してコンピュータ（図示せず）に送る線アレイ探知機（リニアセンサアレイ）を主に備える。このデータ採集サブシステム 30 は、さらに、探知機上の投射データ読み出し回路と論理制御ユニットなどを備える。探知機として、固体探知機、気体探知機、又は半導体探知機を利用できる。

30

【0039】

走査制御コンピュータは、機械制御と電気制御と安全チェーン制御などを含む検査システムの動作の主制御を担当する。データ処理コンピュータは、データ採集サブシステムが獲得した二重エネルギー透過データを処理して表示する。

【0040】

二重エネルギーシステムの材料区分能力（物質識別機能）を向上させるために、図 1 B に示すように、エネルギースペクトル整形装置 40 と自動較正装置 50 とを採用した。

【0041】

エネルギースペクトル整形装置（エネルギー強度制御装置）40 はエネルギースペクトル整形材料とそれに対応する補助デバイスを含む。エネルギースペクトル整形装置 40 は放射線発生装置 10 と被検体 20 との間に配置され、放射線発生装置 10 からの放射線が被検体 20 を透過した前に、スペクトル分布が材料区分に有利になるように（物質を識別しやすくなるように）放射線のエネルギースペクトルを整形（制御）する。

40

【0042】

低いエネルギーを有する放射線を大きく減衰させ、高いエネルギーを有する放射線を小さく減衰させる特徴を備える材料であれば、エネルギースペクトル整形材料として利用できる。この特徴がよいほど、エネルギースペクトル整形の効果は高い。エネルギースペクトル整形材料のこの特徴により、エネルギースペクトル整形した放射線の等価エネルギーが向上する。この整形材料が高エネルギーレベルの放射線のみ作用させると、低エネルギーレベル放射線の等価エネルギーが変わりなしに、高エネルギーレベルの放射線の等価

50

エネルギーを向上させるので、二重エネルギー間の差を大きくし、システムの材料区分能力を高くすることができる。

【0043】

この特性から、整形材料として黒鉛を利用する。理論的には、整形材料が厚いほど、材料を識別能力が高い。しかし、統計変動を考慮すると、整形材料が厚いほど、放射線に対する減衰が高く、探知機で受ける信号量が低く、データのS/N比が低い。したがって、実際の状況に応じて整形材料の厚さの最良値を確定する。高エネルギーレベルと低エネルギーレベルのエネルギーの分布に応じて、エネルギースペクトル整形をあるレベルに対してしか実行しないと確定する回転式のエネルギースペクトル整形装置を図2の左側図面に示す。また、二重エネルギーレベルに対してもエネルギースペクトル整形を実行できるエネルギー

10

【0044】

エネルギースペクトル整形装置40のデザインはエネルギースペクトル整形の要求に応じて決められる。高エネルギーレベル放射線のみ整形し、高エネルギーレベル放射線の等価エネルギーを向上させて二重エネルギー間のエネルギー差を大きくすることで、システムの材料区分能力を向上させてもよい。高・低エネルギーレベル放射線両方に対してエネルギースペクトル整形を実行することも可能である。この場合、低エネルギーレベル放射線が一般的に3MeVの辺りにある。図1Cに示している質量減衰係数曲線から分かるように、低Z材料(原子番号の小さい材料)の減衰係数が3MeVエネルギー帯の近くで互いで間近であり、かつ変化傾向が非常に遅い。その結果、高Z材料の減衰係数が3MeV

20

【0045】

図3は、本発明の実施例による自動較正装置の概略図である。自動較正モジュールは、2つの主要部分、すなわちハードウェア部分として自動較正装置50の設計と、ソフトウェア部分として自動較正プロセスの設計とを含む。

30

【0046】

自動較正装置50は、ステップ状で分布される較正材料に対応する補助装置を含む。自動較正装置50は、較正データを採集して自動較正プロセスに移行し、リアルタイムにシステム状態と合う分類パラメータを得て、材料区分モジュールへの入力としてファイルに保存する。

【0047】

ここでの較正材料は、いろいろな典型的材料を含む。較正精度を確保するために、各カテゴリ毎に少なくとも1種類の典型的材料が用意される。あるいは、各カテゴリ毎に異なる等価原子番号を有する複数種類の典型的材料を用意する。材料を用意しにくい場合、あるいは、限られたスペースに自動較正装置50を置く場合、中央のカテゴリの材料を省略して、自動較正アルゴリズムはその代わりに隣接するカテゴリのデータの補間値を利用してもよい。較正材料の選択は、システムの材料区分要求に関与される。高エネルギーX線による二重エネルギーが、4つのカテゴリ、すなわち有機物、軽金属、無機物と重金属を区分することが必要である。したがって、4つのカテゴリから4種類の典型的材料、すなわち黒鉛(Z=6)、アルミニウム(Z=13)、鉄(Z=26)、鉛(Z=82)を順に選択する。よく使用されかつ安定した単体に属しているという2つの理由から、これらの4つの材料が選択される。

40

【0048】

材料ごとに、いくつか段階の厚さを設計する。最大と最小の厚さは、システムの材料区

50

分範囲によって決定される。段階の数量は、自動較正装置を置くためのスペースと較正精度によって決定される。

【 0 0 4 9 】

補助装置は、主に、各種類の材料の各段階ごとに二重エネルギー透過データを得るように、機械的伝動を提供して位置決定走査を実現する。各位置決定スポットでいくつかのコラムの二重エネルギー透過データを継続に走査する必要がある。信号の統計変動の影響をよく解消するように、256コラム以上を走査することが好ましい。

【 0 0 5 0 】

高さの方向に、探知器のアームの上、異なる探知器で受け取られるX線の角度の分布は異なる。異なる角度の分布のため、スペクトル分布は異なる。これにより、材料区分ためのパラメータは異なる。したがって、X線の角度分布の影響を考慮に入れて、全ての探知高さをいくつかの区域に分けてそれぞれ独立に統計し、分類パラメータを作成してもよい。この場合、自動較正装置50において較正材料が関心範囲全体をカバーすべきである。

【 0 0 5 1 】

較正材料の高さが客観的な要因（例えば処理能力、装置スペース、その他）によって制限され、アーム上の全ての探知器モジュールをカバーすることができない場合、簡略化された方法は以下の通りである。一般的に、最も注目された探知高さはコンテナの貨物を置く位置にあるので、システムはX線の主ビームをその位置の付近に合わせる。その結果、放射線の主ビームの方向は、重要な較正物に集中される。この区域しかカバーしないように較正材料を設計すればよい。取得された二重エネルギー透過データはパラメータとして自動較正アルゴリズムに入力され、全ての区域の分類パラメータとして、X線の主ビーム方向でのエネルギースペクトル分布と一致している分類パラメータを作成する。X線の角度分布が小さい場合、この簡略化された方法が誤差許容範囲内にある。

【 0 0 5 2 】

上記の必要条件が満たされれば、自動較正装置50中の較正材料をどんな形にしてもよい。図3に、段階の量と厚さはただ説明のために記述されるものであり、実際の意味を示さない。

【 0 0 5 3 】

図4Aに、本発明の実施例による自動較正プロセスのフローチャートを示す。図4Aに示すように、ブロック110で、放射線発生装置10はX線ビームを生成する。ブロック120で、X線ビームはエネルギースペクトル整形装置40によって整形される。ブロック130で、自動較正プロセスを実行するとき、自動較正フローを人工的に起動し実行して、オリジナル較正データを取得する。

【 0 0 5 4 】

次に、ブロック140で、オリジナル較正データに対して較正処理を実行する。ブロック150で、自動較正アルゴリズムを実行し、分類パラメータを作成してファイルに格納する。

【 0 0 5 5 】

次に、ブロック150で、自動較正アルゴリズムを呼び出し、現在のシステム状態に整合している分類パラメータを算出する。

【 0 0 5 6 】

図4Bは、本発明の実施例による物質識別方法のフローチャートである。図4Bに示すように、ブロック210で、放射線発生装置10はX線ビームを発生し、ブロック220で、材料区分に望ましい放射線を獲得するように、このX線ビームはエネルギースペクトル整形装置40で整形される。

【 0 0 5 7 】

ブロック230で、整形されたX線ビームは、被検体20を透過し、オリジナル二重エネルギーデータが取得される。次に、ブロック240で、データ補正モジュールを動作させ、探知器の背景データ、探知器のばらつき及び放射線の量のばらつきなどの影響を解消するように、オリジナル二重エネルギーデータに対してデータ補正を実行する。補正され

10

20

30

40

50

たデータが、材料区分と二重エネルギー階調融合処理のために利用される。

【 0 0 5 8 】

次に、ブロック 2 5 0 で、自動較正プロセスにて発生する分類パラメータファイルは、材料区分モジュールに入力される。また、補正された二重エネルギーデータに基づいて、被検体の材料を識別して材料情報を作成する。

【 0 0 5 9 】

一方、ブロック 2 6 0 で、補正された二重エネルギーデータは、融合処理のために二重エネルギー階調融合モジュールに入力され、二重エネルギー融合した被検体透過画像を作成する。このとき、材料区分モジュールからの材料情報と結合して、ブロック 2 8 0 で、カラー化処理される。即ち、被検体に含まれる具体的な情報によって、階調表示に適当な透過画像データをカラー表示に適当な R G B データに変換し、ブロック 2 9 0 で、データ処理コンピュータにて表示する。

10

【 0 0 6 0 】

以上のように、一旦システム状態が変化されると、自動較正プロセスを人工的に起動させて自動較正装置 5 0 を動作させ、エネルギースペクトル整形された最初較正データが収集されてデータ採集サブシステムによってデータ処理コンピュータに送信する。具体的な差別アルゴリズムは、alpha曲線法を利用して設計される。したがって、自動較正アルゴリズムの目的は、システム状態と合っているalpha曲線グラフの分類パラメータを計算することである。自動較正アルゴリズムを呼び出すことで、システム状態と合っているalpha曲線グラフの分類パラメータを取得し、材料区分モジュールへのパラメータ入力としてファイルに格納する。図 5 にalpha曲線グラフの座標の定義を示す。

20

【 0 0 6 1 】

図 5 に示すように、alpha L と alpha H は、以下の通りに定義される。

$\alpha L = (1 - \log(TL)) \times 1000$ 但し、TL は低エネルギーの透明度、

$\alpha H = (1 - \log(TH)) \times 1000$ 但し、TH は高エネルギーの透明度、

alpha H を alpha 曲線の横座標 alpha x とし、alpha L と alpha H の差分を alpha 曲線の縦座標 alpha y とし、

$\alpha x = \alpha H = (1 - \log(TH)) \times 1000$

$\alpha y = \alpha L - \alpha H = (-\log(TL) + \log(TH)) \times 1000$

【 0 0 6 2 】

30

先に述べたように、ブロック 1 3 0 で、データ補正モジュールを動作させ、探知器の背景データ、探知器のばらつき及び放射線の量のばらつきなどの影響を解消するように、オリジナル二重エネルギーデータに対してデータ補正を実行し、較正材料のトレーニングデータを取得する。図 6 A は、ある探知範囲のトレーニングデータが alpha 曲線グラフに存在することを示す模式図である。

【 0 0 6 3 】

以下、較正材料のトレーニングデータから各種類の材料の間で分類境界線を作成する方法を詳細に説明する。

【 0 0 6 4 】

(i) ある探知範囲以内で、各材料の各段階ごとに較正した二重エネルギーデータのいくつかの列に対して、順に平均値を統計することで、較正材料のトレーニングデータの一連の平均値点を得る。図 6 C は、alpha 曲線グラフの中のある探知範囲内のトレーニングデータの平均値点を示す模式図である。

40

【 0 0 6 5 】

(ii) 図 6 B の alpha 曲線グラフに、ある種類の材料のいくつかのトレーニングデータの平均値点をつながることで、その材料の alpha 分散曲線を取得する。しかし、較正材料の段階の量が制限されるので、直接に繋がった alpha 分散曲線は精度が低い。したがって、最小二乗曲線フィッティング法(すなわち最小二乗法によって所定のデータポイントのフィッティング多項式を求める)で曲線フィッティングを行い、いくつかのトレーニングデータの平均値点を入力パラメータとして曲線フィッティングを行うことで、曲線のフィッ

50

テイングパラメータである多項式の各階数の係数を取得する。フィッティング多項式の階数は、実際の状況に応じて選択させる。他のフィッティング方法、たとえばチェビシェフの最適のフィッティング多項式を曲線フィッティングとして利用することも可能である。

【0066】

(iii) alpha曲線のX軸を必要に応じて確定された精度で離散化する。そして、曲線フィッティングパラメータを利用して各分散点に対応するy軸データを算出する。これによって、該当材料の離散化したalpha曲線が取得される。

【0067】

(iv) すべての材料の離散化したalpha曲線を取得するまで、ステップ(ii)と(iii)を繰り返す。

【0068】

(v) 図6Bから分かるように、alpha曲線は原子番号の方向に単調である。それは二重エネルギー材料区分アルゴリズムの基盤である。その結果、図6Cに示すように、各種の材料の離散化したalpha曲線を得ると、2本の隣接した曲線の離散化境界線を順に算出することが出来る。

【0069】

4つのカテゴリーの分類は、等価原子番号に応じて決定される。Z = 1 ~ 10を、有機物のカテゴリーに分類し、Z = 10 ~ 18を軽金属のカテゴリーに分類し、Z = 18 ~ 57を無機物のカテゴリーに分類し、そしてZ > 57を重金属のカテゴリーに分類する。黒鉛(Z = 6)、アルミニウム(Z = 13)、鉄(Z = 26)と鉛(Z = 82)は、それぞれ4つの典型的材料として選択される。Z = 10の原子番号の離散化alpha曲線は、すなわち有機物と軽金属との分類境界線は、アルミニウム(Z = 13)の材料の離散化alpha曲線と黒鉛(Z = 6)の離散化alpha曲線を加重平均で得られる。この場合、加重平均の重みは単に原番号子で計算できる。つまり、異なる原子番号範囲内の区分可能性が同じとする。厳密に言えば、異なる原子番号範囲内の区分可能性は差別があるが、低エネルギーによる二重エネルギーと異なり、高エネルギーによる二重エネルギーは材料区分能力が低く、異なるカテゴリーに属する材料しか区分できず、精度よく原子番号の異なる材料を区分することが出来ない。したがって、この差別は許容可能である。

【0070】

同様に、Z = 18の原子番号の離散化alpha曲線は、すなわち軽金属と無機物との分類境界線は、アルミニウム(Z = 13)の材料の離散化alpha曲線と鉄(Z = 26)の離散化alpha曲線を加重平均で得られる。Z = 57の原子番号の離散化alpha曲線は、すなわち無機物と重金属との分類境界線は、鉄(Z = 26)の材料の離散化alpha曲線と鉛(Z = 82)の離散化alpha曲線を加重平均で得られる。

【0071】

(vi) 探知範囲全体の離散化分類境界線が得られるまで、ステップ(i)、(ii)、(iv)、(iii)、(v)を繰り返す。

【0072】

各探知範囲、各種の典型的材料の分類境界線を、所定のフォーマットでファイルに格納して、材料区分モジュールの分類パラメータとする。

【0073】

先に述べたように、材料区分は、単一エネルギーX線システムから二重エネルギーX線システムの優れた特徴である。高エネルギーのX線結像によって得られる材料区分能力は、低エネルギーによる二重エネルギーX線技術のそれより非常に悪い。したがって、材料区分モジュールが正しい分類を考慮するだけでなく、材料区分の効果を向上する方法を考慮することも必要である。

【0074】

まず、高エネルギーの透明度に対して雑音低減処理を実行する。次に、雑音低減結果で材料区分を行い、材料区分結果に対してさらに雑音低減処理を実行する。システムは非常に高い処理速度を要求する場合、ただ材料識別前後の雑音低減処理の一方を実行しても、

10

20

30

40

50

よい材料区分効果を確保することが可能である。

【 0 0 7 5 】

高エネルギー X 線による二重エネルギーの材料区分能力は、存在するエネルギースペクトルの制限のために、低エネルギーによる二重エネルギー X 線技術のそれより非常に悪い。また、X 線の統計変動は固有であるので、データを前処理して、二重エネルギー画像に対して雑音低減を実行することが必要である。そうしなければ、材料区分能力の正確度が大きく制限される。雑音低減を実行する前に、材料区分能力が固定である場合、統計変動が大きいほど、分類の精度が低いである。分類精度がある程度を下回ると、分類エラーと判定する。分類精度を向上して材料の区分効果を確保するために、有効な前処理アルゴリズムを設計することが必要である。前処理の目的は、材料区分の正確度を増やすために、データの雑音を減らすことで、データを出来るだけ正確な値に近づかせることになる。前処理の雑音低減程度は、システムの雑音レベルに依存する。雑音低減の目的を達成できれば、前処理アルゴリズムのデザインは大きな柔軟性がある。本発明は、材料区分の効果をできるだけ向上するために、前処理アルゴリズムを設計するとき、隣接領域の選択と類似スポットの定義とを工夫する。

10

【 0 0 7 6 】

(a)隣接領域の選択：隣接領域を適切に大きくするべきである。隣接領域は小さすぎると、統計的平均値になるスポットの数あまりに少ないので、よい雑音低減を達成できない。もちろん、隣接領域をあまり大きくしてはいけない。隣接領域はあまり大きいである場合、操作の速度は影響され、且つ雑音低減の効果をさらに向上することができず、過平滑を引き起こすこともある。

20

【 0 0 7 7 】

(b)類似スポットの定義：大きな隣接領域が選ばれるとき、統計的平均プロセスにおいてファジーエッジを生じやすい。雑音低減の間、エッジ領域に影響しないように、統計プロセスに隣接領域のスポットの制限条件を加えることを要求される。条件と一致しているスポットは類似スポットとして参照され、平均値統計に影響を与える。中心のスポットと異なる領域に属しているスポットは、制限条件と一致しないので、統計範囲の外で、平均値に影響しない。

【 0 0 7 8 】

前処理アルゴリズムのステップは図 7 A のフローチャートに示す。

30

ステップ 3 1 0 ~ 3 4 0 では、アルゴリズムの実行中、二重エネルギーデータの汎用特徴に基づいてアルゴリズムのパラメータを設定する。ステップ 3 5 0 ~ 3 8 0 では、アルゴリズムの実行中、ステップ 3 1 0 ~ 3 4 0 で決定されるアルゴリズムのパラメータに基づいて実際の画像に対して雑音低減を実行する。

【 0 0 7 9 】

ステップ 3 1 0 に、高エネルギーの透明度と低エネルギー透明度は、二次元特徴として選ばれる。これは、二重エネルギーシステムがこの二次元特徴しか直接獲得できるからである。高エネルギーの透明度または低エネルギー透明度の一方を一次元機能として選ぶ代わりに、二次元特徴の選択は、類似スポットの判断をより確実にするためである。

【 0 0 8 0 】

40

ステップ 3 2 0 に、重要なことは透明度の統計変動の幅を分析することである。透明度の統計変動の幅は、システム全体の設計レベルに依存する。統計変動の幅を得るために、均一な領域において透明度の相対的な標準偏差を統計することができる。一般に、雑音は標準偏差の 2 . 3 5 5 倍である。雑音レベルによって類似スポット同士の透明度差の幅を設定することが可能になる。

【 0 0 8 1 】

ステップ 3 3 0 に、隣接領域のサイズの配置は、ステップ 3 2 0 のデータ統計変動の幅に関与される。統計変動の幅が大きい場合、雑音低減の強さを大きくするべきであるので、隣接領域の面積をより大きく設定しなければならない。他方、隣接領域の面積がより大きく設定されると、アルゴリズムの動作速度はより遅くなる。実際のデータを処理して異

50

なる隣接領域の処理効果を比較することで、本システムには 5 pixels × 5 pixels という面積を有する隣接領域を前処理する。

【 0 0 8 2 】

ステップ 3 4 0 に、中心点からの異なる距離を有する類似スポット用の重み係数の設定は、このアルゴリズムのための重要なステップではない。本システムは、等しい重み加算の方で実行する。

【 0 0 8 3 】

ステップ 3 5 0 に、ステップ 3 3 0 に特定される隣接領域の面積に応じて、中心画素に類似スポットの検索範囲を確定する。高エネルギー透明度及び低エネルギー透明度が中心画素のそれらとの差はともにステップ 3 2 0 で決定される類似スポット間の透明度差の幅より小さい隣接領域の画素を、中心画素の類似スポットとする。

10

【 0 0 8 4 】

ステップ 3 6 0 に、高エネルギーの透明度と低エネルギーの透明度の加重平均を得るために、類似スポットの間で高エネルギーの透明度と低エネルギーの透明度をステップ 3 4 0 に特定された重み係数で加重平均する。

【 0 0 8 5 】

ステップ 3 7 0 に、ステップ 3 6 0 で出力される雑音低減の結果である高エネルギーの透明度と低エネルギーの透明度の加重平均値を用いて、図 5 に示す公式で α_x と α_y を算出する。

【 0 0 8 6 】

20

最後に、材料区分を行い、材料の識別の予備結果を得る。特徴軸は α_x と α_y (α 曲線の座標定義は図 5 に例示される) である α 曲線法を利用して材料識別アルゴリズムを設計する。高エネルギーの透明度と低エネルギーの透明度の加重平均値を用いて、 α_x と α_y を算出して材料を区分する。材料区分は、自動較正モジュールで得られる分類境界線に基づく。図 6 A からわかるように、 α 曲線が原子番号の方向に単調である。それは二重エネルギー材料区分アルゴリズムの基盤である。高エネルギーによる二重エネルギーについて、同じ α_x 点に対応する材料の原子番号が増えながら、 α_y 値は原子番号の方向に単調に減少する。調べる点の α データは ($\alpha_x R$ 、 $\alpha_y R$) である場合、テーブルを調べることによって $\alpha_x R$ と一致している 3 つの境界線点である $\alpha_y C - Al$ 、 $\alpha_y Al - Fe$ 、 $\alpha_y Fe - Pb$ を得る。 $\alpha_y C - Al$ 、 $\alpha_y Al - Fe$ 、 $\alpha_y Fe - Pb$ の間で $\alpha_x R$ の大きさを比較することによって、調べる点の材料情報を特定できる。

30

【 0 0 8 7 】

材料の識別は、類似スポットの加重平均に基づく。したがって、データの統計変動が分類精度に対する影響は、最低限になる。しかし、材料区分が点ごとに実行されるので、点の間の材料の区分結果は平滑ではない。表示効果を確実にするために、画像全体に対して材料区分を実行した後に、類似スポットの材料区分結果に対して雑音低減をさらに実行する。

【 0 0 8 8 】

雑音低減アルゴリズムは、前処理アルゴリズムと類似し、重要なことは隣接領域のサイズを選択と類似スポットの判断である。アルゴリズムのステップは、図 7 B のフローチャートに例示される。

40

【 0 0 8 9 】

ステップ 4 1 0 ~ 4 4 0 では、アルゴリズムの実行中、二重エネルギーデータの汎用特徴に基づいてアルゴリズムのパラメータを設定する。ステップ 4 5 0 ~ 4 8 0 では、アルゴリズムの実行中、ステップ 4 1 0 ~ 4 4 0 で決定されるアルゴリズムのパラメータに基づいて実際の画像に対して雑音低減を実行する。

【 0 0 9 0 】

ステップ 4 1 0 に、高エネルギーの透明度と低エネルギー透明度は、二次元特徴として選択される。前処理アルゴリズムと材料の識別アルゴリズムが実行され、材料の予備識別

50

結果の特徴は加えられた。しかし、加えられたこの一次元特徴は、情報の量を増やすことなく前の二次元特徴に基づいて得られる。その代わりに、材料の予備識別結果は雑音が大いなので、類似スポットの判断に影響するので、この一次元特徴を選択しない。

【 0 0 9 1 】

ステップ 4 2 0 に、重要なことは透明度の統計変動の幅を分析することである。透明度の統計変動の幅は、システム全体の設計レベルに依存する。統計変動の幅を得るために、均一な領域において透明度の相対的な標準偏差を統計することができる。一般に、雑音は標準偏差の 2.355 倍である。雑音レベルによって類似スポット同士の透明度差の幅を設定することが可能になる。

【 0 0 9 2 】

ステップ 4 3 0 に、隣接領域のサイズの配置は、ステップ 4 2 0 のデータ統計変動の幅に関連される。統計変動の幅が大きい場合、雑音低減の強さを大きくするべきであるので、隣接領域の面積をより大きく設定しなければならない。他方、隣接領域の面積がより大きく設定されると、アルゴリズムの動作速度はより遅くなる。カラーの視覚的效果を確保するために、ここで、雑音低減の強さを適切に大きくして、11 pixels × 11 pixels という面積を有する隣接領域を選択する。

【 0 0 9 3 】

ステップ 4 4 0 に、中心の点からの異なる距離を有する類似スポット用の重み係数の設置は、このアルゴリズムの重要なステップではない。本システムは、等しい重み加算の方で実行する。

【 0 0 9 4 】

ステップ 4 5 0 に、ステップ 4 3 0 に特定される隣接領域の面積に応じて、中心画素に類似スポットの検索範囲を確定する。高エネルギー透明度及び低エネルギー透明度が中心画素のそれらとの差はともにステップ 4 2 0 で決定される類似スポット間の透明度差の幅より小さい隣接領域の画素を、中心画素の類似スポットとする。

【 0 0 9 5 】

ステップ 4 6 0 に、材料の識別結果の加重平均を得るために、類似スポットの間で材料

【 0 0 9 6 】

予備識別結果をステップ 4 4 0 に特定された重み係数で加重平均する。

【 0 0 9 7 】

ステップ 4 7 0 に、ステップ 3 6 0 で得られる材料の識別結果の加重平均を、最終の材料識別結果として出力する。

【 0 0 9 8 】

図 8 は、材料区分モジュールで異なる処理パラメータの効果図の対照を与える。図 8 の (A) に示すように、前処理を実行しない場合、材料の識別結果の雑音は非常に大きく、材料区分の正確度はかなり影響される。図 8 の (B) に示されるように、より小さな隣接領域 (3 × 3) を選択して前処理を実行するとき、雑音はいくぶん低減するが、雑音低減範囲は非常に制限される。図 8 の (C) に示すように、類似スポット判断を実行することなく、より大きな隣接領域 (11 × 11) を選択して前処理を実行するとき、画像の雑音はかなり低減するが、物のエッジ領域、2 種類の材料のデータが混ぜ合わせて統計されたから、材料区分結果は明らかに間違っている。図 8 の (D) に示されるように、(11 × 11) のより大きな隣接領域を選択して前処理し、かつ類似スポット判断を実行する場合、エッジ領域に影響がなく、よい雑音低減効果を達成することは可能である。

【 0 0 9 9 】

階調融合モジュールについての基本的な考えは、低エネルギーレベル結像図は低質量の厚さを透過する領域で優位を占めるが、まったく、高エネルギーレベル結像図は高質量の厚さを透過する領域で優位を占める。具体の重み係数は、実際のシステムの特徴に応じて柔軟に調節されることが可能である。この考えに基づいて、以下の公式を採用して実行してもよい。

10

20

30

40

50

$result\ Gray = n\ I\ l \times dFactor + n\ I\ h \times (1 - dFactor)$

但し、 $n\ I\ l$ 、 $n\ I\ h$ 、 $resultGray$ は、それぞれ、低エネルギーレベルデータ、高エネルギーレベルデータ及び融合階調であり、 $dFactor$ は、重み係数であり、 $n\ I\ l / \max(n\ I\ l)$ 又は $n\ I\ h / \max(n\ I\ h)$ を取ってもよい。

【0100】

カラー化モジュールでは、キーポイントは材料の情報と色調の対応関係の設計及びカラーテーブルの設計である。

【0101】

国際に、有機物を橙色で、軽金属を緑色で、無機物を青色でそれぞれ表示するという低エネルギーX線による二重エネルギーシステム用のカラー表示規格がある。高エネルギーX線による二重エネルギーシステム用のカラー規格は、開発されなかった。ユーザーの視覚の習慣を考慮に入れて、低エネルギーX線による二重エネルギーシステムのカラー表示標準を使い続けることは可能である。そして、有機物を橙色で、軽金属を緑色で、無機物を青色でそれぞれ表示する。有機物、軽金属、無機物に加えて、高エネルギーX線による二重エネルギーシステムは、重金属のカテゴリーをさらに識別できる。このカテゴリーの表示について、利用できる標準がなく、設計者の好みに基づいて決定できる。色の使用の連続性を考慮に入れて、本システムは紫で重金属を示す。

【0102】

カラー化アルゴリズムのキーポイントが、原子番号及び融合階調と色調情報との間のマッピング関係と、カラーテーブルのデザインにある。カラー化フローは、図9に示す。ステップ510～550では、カラーテーブルのデザインルールを説明する。ステップ610～650は、原子番号及び融合階調と色調情報との間のマッピングルールを説明する。

【0103】

ステップ510と520に、原子番号と色調H(HLSカラーモデルのH)を対応させ、異なる原子番号は異なる色調で示す。材料区分のカテゴリーの数は色調のそれと同じである。カラー画像の調和性のために、材料区分のプロセスにカテゴリーを細かにすることは可能です。そして、物質を4つのカテゴリーである有機物、軽金属、無機物、重金属に分けるだけでなく、各々のカテゴリーの範囲内で原子番号に基づくいくつかのサブカテゴリに物質をさらに細かく分類する。色調のデザインは、カラー表示標準に従いながら、色調の移行を考慮して、橙色から橙黄色へ、黄緑色から青緑色へ、シアニンからネイビーブルーへ、紫青から赤紫へ移行する。

【0104】

ステップ530に、視覚の理論によれば、適当な飽和度を各色調に設定される。人間の目は、緑の色に対してより多くの感度、橙色色に対して一般的な感度、青い色に対してより少ない感度を有する。したがって、緑の色へ低い飽和度、橙色色へ中高の飽和度、青い色へ高い飽和度をそれぞれ配置する。このルールに基づいて、飽和度と色調と対応規則を設計する。

【0105】

ステップ540に、キーポイントは、融合階調とL値(HLSカラーモデルのL値)のマッピング関係を設計することである。色調の調和性を確実にするために、同じ輝度レベルの色について、人間の目が感覚する輝度を相当にするべきであるので、異なる色調によるカラーテーブルにおいて、融合階調が単にL値と同一にすることはない。

【0106】

このステップはYUVカラーモデルのY値を利用する。YUVカラーモデルのY値は人間の目が感じる輝度を代表する。また、HLSカラーモデルのL値は人間の目が感じる輝度を代表することができない。単に融合階調とL値の対応関係に応じてカラーテーブルを設定すると、異なる色調の色は不調和になる。したがって、YUVモデルと、RGBモデルと、HLSモデルとの変換関係を結合し、融合階調がY値と等価であるという原則に従って、融合階調とL値のマッピング関係を設定してHLSカラーテーブルを作成する。

【0107】

10

20

30

40

50

人間の目が感じる輝度はYUVカラーモデルのY値によって表示することができるので、同じ輝度レベルのY値が同一であるわけである。したがって、HLSカラーモデルの色調Hと飽和度S及びYUVモデルのY値は既知で、HLSカラーモデルの輝度のL値を特定するという数学的課題になる。YUVカラーモデルからHLSカラーモデルへの直接的変換関係はないので、RGBモデルを仲介として変換する。

【0108】

ステップ540に、HLSカラーテーブルからRGBカラーテーブルに変換する。HLSカラーテーブルからRGBカラーテーブルへの変換は時間がかかるので、両者の関係を予め算出してテーブルに格納することで、テーブルを探索してRGBの値を取得することが可能である。第1の次元が色調情報(材料情報に対応)、第2の次元が輝度レベル情報(融合階調に対応)であって、RGBの値を格納するHLSからRGBへのマッピングテーブルを作成する。そして、物質識別した材料情報と融合した階調を取得すると、テーブルを探索して各点のRGB値を得てカラー画像表示に利用する。

10

【0109】

カラーテーブルを作成した後、リアルタイムにカラー化過程は単にテーブル検索の過程になる。材料区分モジュールが出力した材料情報と、階調融合モジュールが出力した融合輝度情報を用いて二次元のRGBカラーテーブルを探索することで、カラー画像が得られる。

【0110】

ステップ610に、材料区分モジュールが出力した材料情報と、階調融合モジュールが出力した融合輝度情報とを、カラー化アルゴリズムの入力情報として取得する。

20

【0111】

ステップ620に、材料情報(色の色調と対応する)に応じて、RGB二次元マッピングテーブルの第1の次元のインデックス値を特定する。

【0112】

ステップ630に、融合階調(色の輝度レベル)に応じて、RGB二次元マッピングテーブルの第2の次元のインデックス値を特定する。

【0113】

ステップ640に、ステップ620、630で特定された二次元のインデックス値で、二次元のRGBカラーテーブルを探索してRGB値を取得する。

30

【0114】

ステップ650に、ステップ610~640を繰り返すことで、点毎にRGB値を決定してRGB画像を出力する。

【0115】

階調表示と材料区分後のカラー表示効果は図10に模式的に示す。

【0116】

以上は、望ましい実施例で本発明を説明した。本発明の要旨を離れない場合、本発明に対する各種の変更、差替え、追加は、当業者にとって自明なことである。従って、本発明の保護範囲は、上記の特定の実施例によって限られず、請求書によって限られるものとすべきである。

40

【図面の簡単な説明】**【0117】**

【図1A】図1Aは、高エネルギーX線による二重エネルギー結像システムの基本構成を示す図である。

【図1B】図1Bは、材料区分装置を内装している高エネルギーX線による二重エネルギー結像システムを示す図である。

【図1C】図1Cは、質量減衰係数を示すグラフである。

【図2】図2は、本発明の実施形態によるエネルギー・スペクトル整形装置を示す図であり、黒い矢印は高エネルギーレベルの放射線、灰色の矢印は低エネルギーレベルの放射線、黒い領域は整形材料ブロックをそれぞれ示している。

50

【図3】図3は、本発明の実施形態による自動較正装置を示す図であり、黒い矢印は高エネルギーレベルの放射線、灰色の矢印は低エネルギーレベルの放射線をそれぞれ示している。

【図4A】図4Aは、本発明の実施形態による自動較正プロセスを示すフローチャートである。

【図4B】図4Bは、本発明の実施形態による自動較正プロセスを示すフローチャートである。

【図5】図5は、alphaグラフの座標の定義を示す図である。

【図6A】図6Aは、自動較正プロセスにおいて利用された較正材料のトレーニングデータを示す図である。

【図6B】図6Bは、較正材料のトレーニングデータから作成したalpha曲線を示す図である。

【図6C】図6Cは、較正材料のトレーニングデータの統計結果を示す図である。

【図7A】図7Aは、高低エネルギーの透明度の雑音低減処理を示すフローチャートである。

【図7B】図7Bは、材料区分結果に対する雑音低減処理のフローチャートである。

【図8】図8は、異なる前処理パラメータ毎に材料区分モジュールが作成した結像結果を示す図である。

【図9】図9は、色テーブルとRGB画像の作成プロセスを示す模式図である。

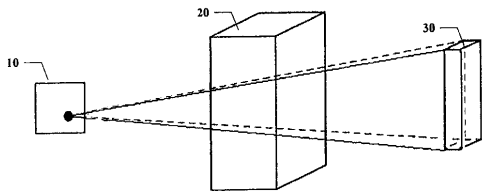
【図10】図10は、階調画像とカラー画像との効果対比を示す図である。

【符号の説明】

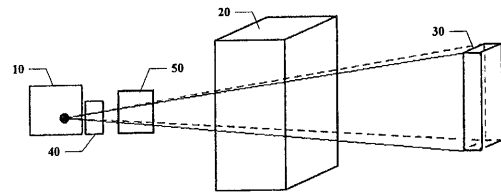
【0118】

- 10 放射線発生装置、 20 被検体、 30 データ採集(データ収集)サブシステム、
- 40 エネルギースペクトル整形装置、 50 自動較正装置。

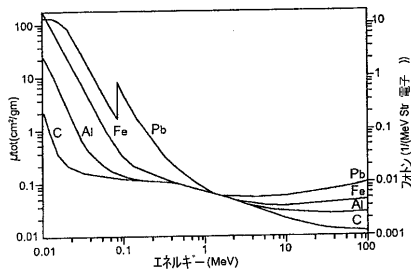
【図1A】



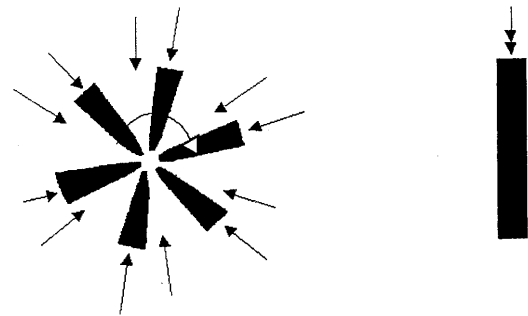
【図1B】



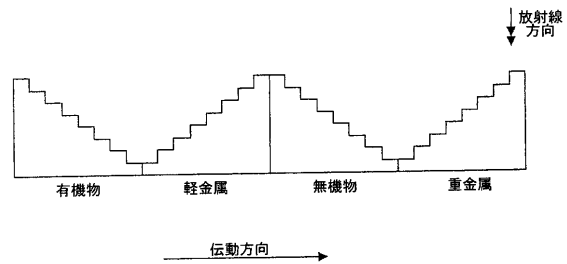
【図1C】



【図2】



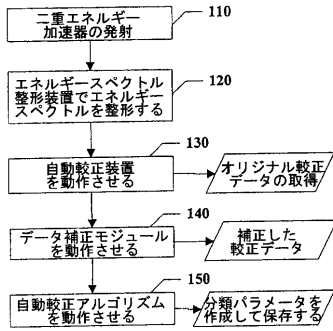
【図3】



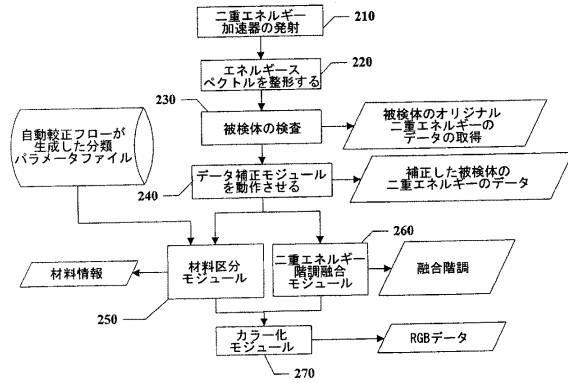
10

20

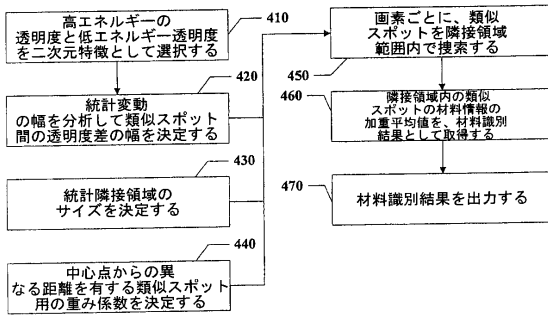
【図4A】



【図4B】



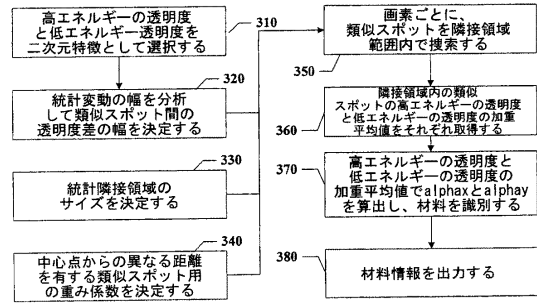
【図7B】



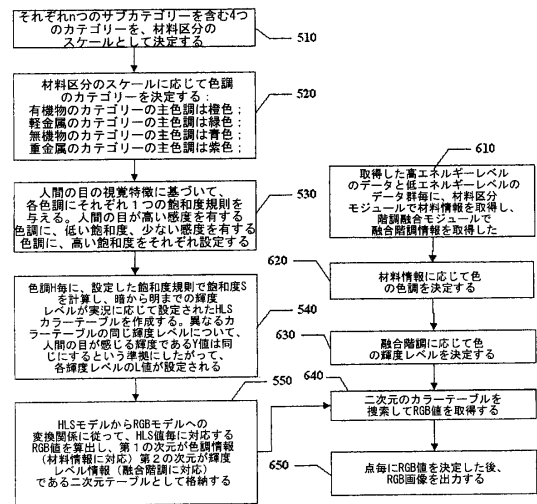
【図5】

alphaLとalphaHは、以下の通りに定義される。
 $\alpha_{pL} = (1 - \log(T_L)) * 1000$ 、但し、 T_L は低エネルギーの透明度；
 $\alpha_{pH} = (1 - \log(T_H)) * 1000$ 、但し、 T_H は高エネルギーの透明度；
 α_{pHx} をalpha曲線の横座標 α_{pHx} とし、 α_{pL} と α_{pH} との差分をalpha曲線の縦座標 α_{pHy} とすると、
 $\alpha_{pHy} = \alpha_{pL} - \alpha_{pH} = (-\log(T_L) + \log(T_H)) * 1000$

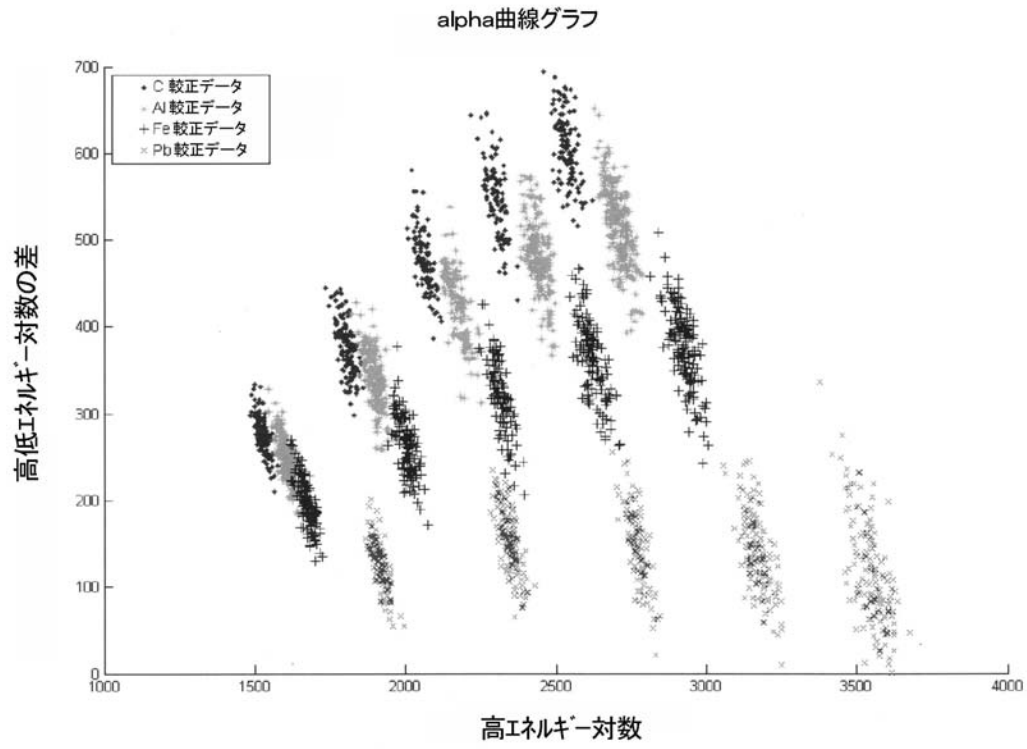
【図7A】



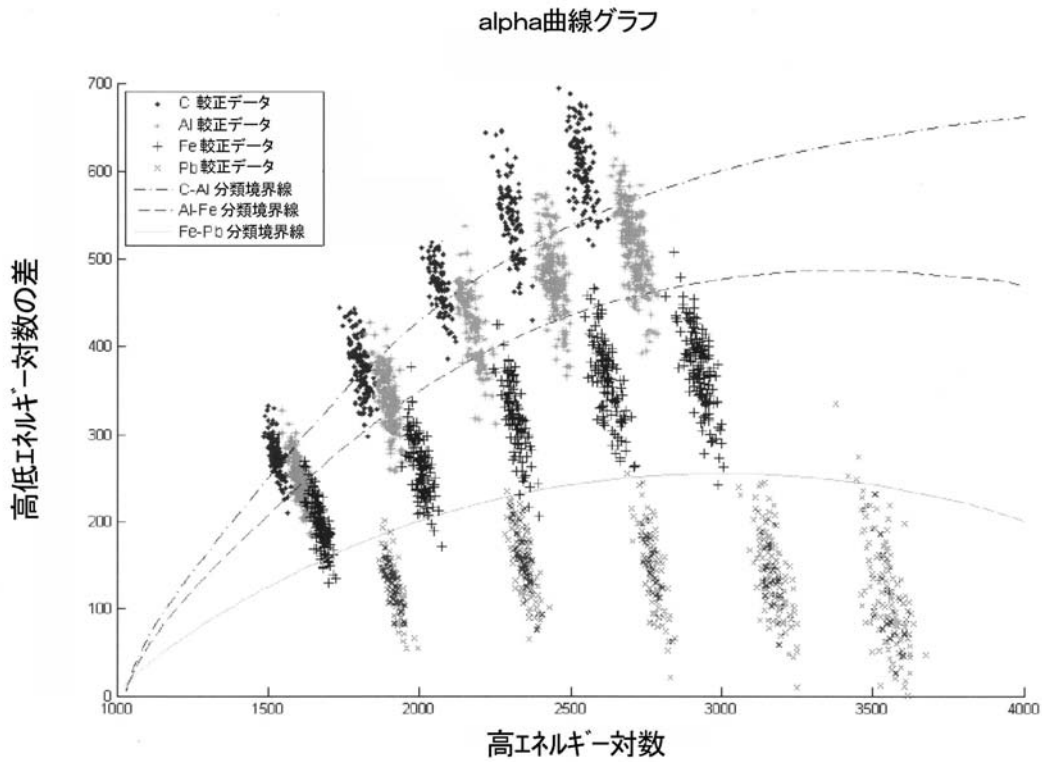
【図9】



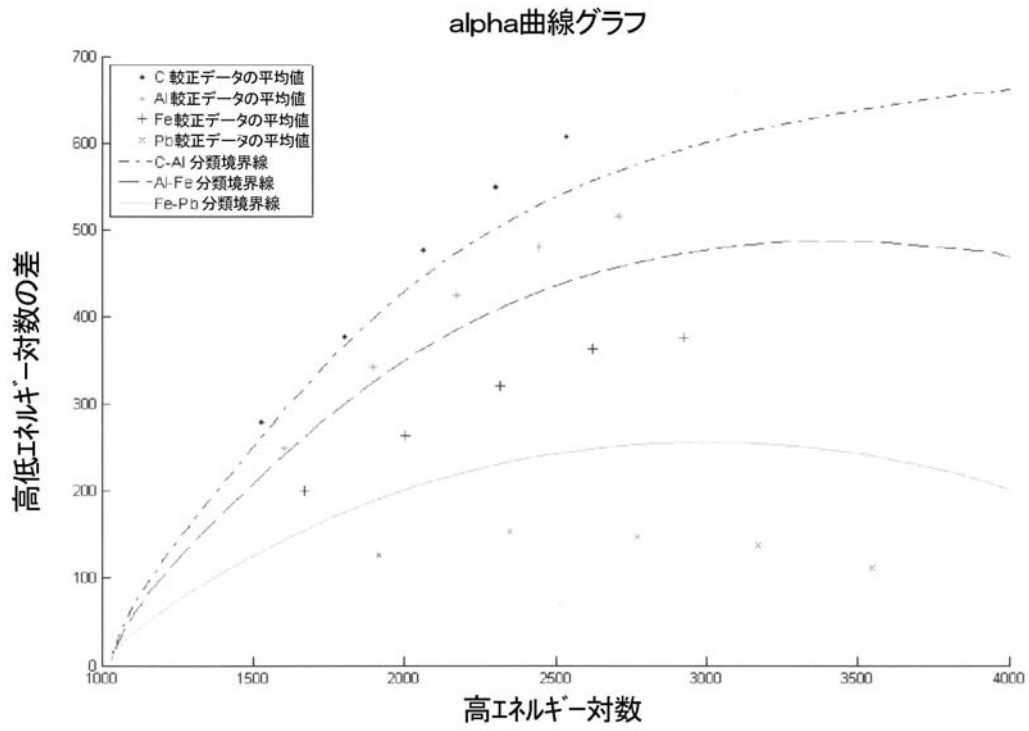
【 図 6 A 】



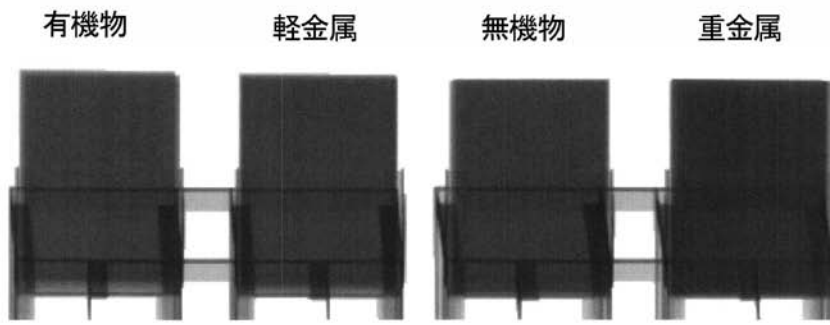
【 図 6 B 】



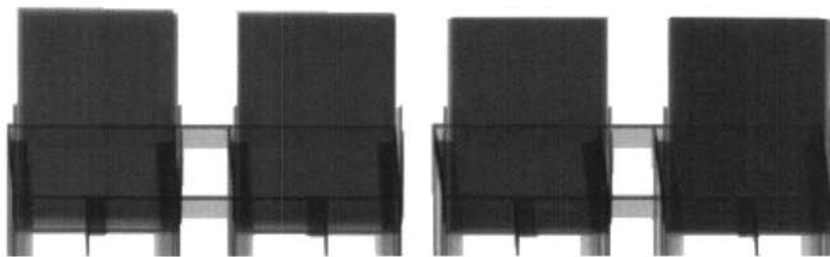
【 図 6 C 】



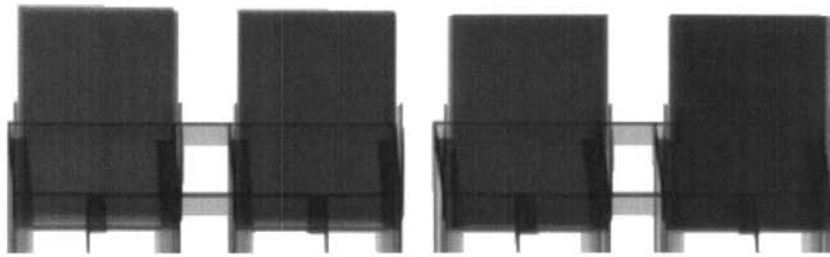
【 図 8 】



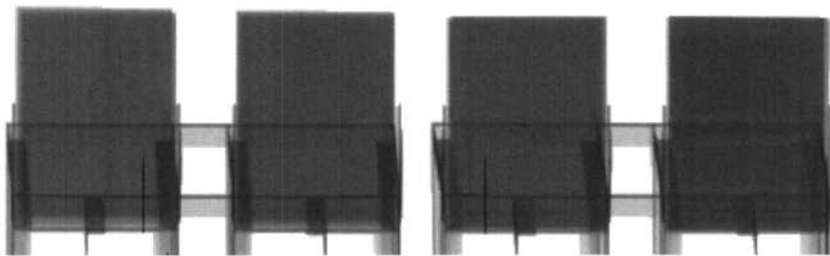
(A)



(B)

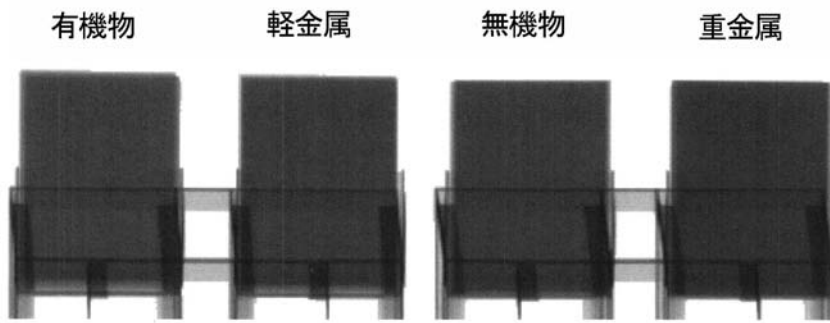


(C)

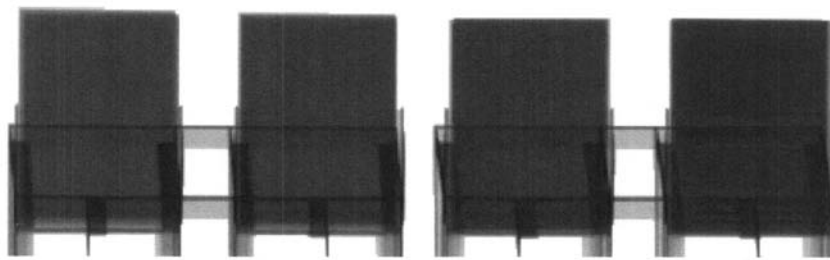


(D)

【図 10】



(A)



(B)

フロントページの続き

- (74)代理人 100100479
弁理士 竹内 三喜夫
- (74)代理人 100112911
弁理士 中野 晴夫
- (74)代理人 100125874
弁理士 川端 純市
- (72)発明者 陳 志強
中華人民共和国 北京市海澱區雙清路同方大廈A座2層 1 0 0 0 8 4
- (72)発明者 張 麗
中華人民共和国 北京市海澱區雙清路同方大廈A座2層 1 0 0 0 8 4
- (72)発明者 康 克軍
中華人民共和国 北京市海澱區雙清路同方大廈A座2層 1 0 0 0 8 4
- (72)発明者 王 學武
中華人民共和国 北京市海澱區雙清路同方大廈A座2層 1 0 0 0 8 4
- (72)発明者 黄 清萍
中華人民共和国 北京市海澱區雙清路同方大廈A座2層 1 0 0 0 8 4
- (72)発明者 李 元景
中華人民共和国 北京市海澱區雙清路同方大廈A座2層 1 0 0 0 8 4
- (72)発明者 劉 以農
中華人民共和国 北京市海澱區雙清路同方大廈A座2層 1 0 0 0 8 4
- (72)発明者 趙 自然
中華人民共和国 北京市海澱區雙清路同方大廈A座2層 1 0 0 0 8 4
- (72)発明者 肖 永順
中華人民共和国 北京市海澱區雙清路同方大廈A座2層 1 0 0 0 8 4

審査官 越柴 洋哉

- (56)参考文献 特開2007-183277(JP,A)
特表2007-526483(JP,A)
特表2007-526482(JP,A)
特表平07-505216(JP,A)
特開昭62-161348(JP,A)
特開平08-068768(JP,A)
特開平02-287244(JP,A)
特開2007-127617(JP,A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

G01N 23/00 - 23/227