

(12) 特許協力条約に基づいて公開された国際出願

(19) 世界知的所有権機関
国際事務局



(10) 国際公開番号

WO 2010/021387 A1

(43) 国際公開日

2010年2月25日(25.02.2010)

PCT

- (51) 国際特許分類:
G01T 1/161 (2006.01) G01T 1/29 (2006.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2009/064671
- (22) 国際出願日: 2009年8月21日(21.08.2009)
- (25) 国際出願の言語: 日本語
- (26) 国際公開の言語: 日本語
- (30) 優先権データ:
特願 2008-213928 2008年8月22日(22.08.2008) JP
- (71) 出願人(米国を除く全ての指定国について): 国立大学法人群馬大学(NATIONAL UNIVERSITY CORPORATION GUNMA UNIVERSITY) [JP/JP]; 〒3718510 群馬県前橋市荒牧町四丁目2番地 Gunma (JP). 独立行政法人日本原子力研究開発機構(JAPAN ATOMIC ENERGY AGENCY) [JP/JP]; 〒3191184 茨城県那珂郡東海村村松4番地49 Ibaraki (JP).

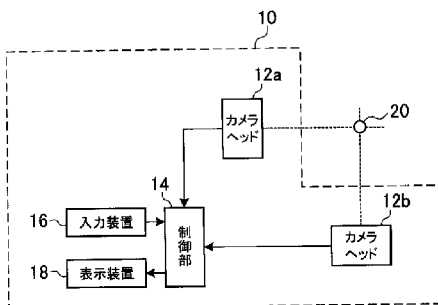
- (72) 発明者; および
- (75) 発明者/出願人(米国についてのみ): 山口 充孝(YAMAGUCHI, Mitsutaka) [JP/JP]; 〒3710034 群馬県前橋市昭和町三丁目39番22号 国立大学法人群馬大学内 Gunma (JP). 島田 博文(SHIMADA, Hirofumi) [JP/JP]; 〒3710034 群馬県前橋市昭和町三丁目39番22号 国立大学法人群馬大学内 Gunma (JP). 中野 隆史(NAKANO, Takashi) [JP/JP]; 〒3710034 群馬県前橋市昭和町三丁目39番22号 国立大学法人群馬大学内 Gunma (JP). 河地 有木(KAWACHI, Naoki) [JP/JP]; 〒3701292 群馬県高崎市綿貫町1233番地 独立行政法人日本原子力研究開発機構 高崎量子応用研究所内 Gunma (JP). 荒川 和夫(ARAKAWA, Kazuo) [JP/JP]; 〒3701292 群馬県高崎市綿貫町1233番地 独立行政法人日本原子力研究開発機構 高崎量子応用研究所内 Gunma (JP). 高橋 忠幸(TAKAHASHI, Tadayuki) [JP/JP]; 〒2290022 神奈川県相模原市由野台三丁目1番1号 独立行政法人宇宙航空研究開発機構 宇宙科学研究本部内 Kanagawa (JP). 渡辺 伸(WATANABE, Shin)

[続葉有]

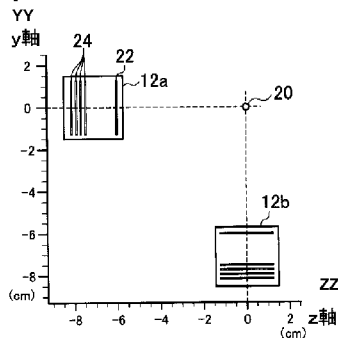
(54) Title: COMPTON CAMERA

(54) 発明の名称: コンプトンカメラ

[図1A]



[図1B]



16 INPUT DEVICE 12b CAMERA HEAD
 18 DISPLAY DEVICE YY y-AXIS
 14 CONTROL SECTION ZZ z-AXIS
 12a CAMERA HEAD

(57) Abstract: A plurality of camera heads are arranged, respectively, at positions where radiation emitted from a radiation source can be detected, and an image based on the radiation source is reconfigured by projecting a Compton cone obtained from detection data outputted from each camera head into a three-dimensional space. On the other hand, a three-dimensional space from which such a region as no radiation source exists is removed is specified using the projection image of a Compton cone obtained from the detection data outputted from each camera head and projected onto a two-dimensional plane and an image based on the radiation source is reconfigured in the three-dimensional space thus specified.

(57) 要約: 複数のカメラヘッドの各々を、放射線源から放出された放射線を検出することが可能な位置に配置し、カメラヘッドの各々から出力された検出データの各々から得られるコンプトン円錐を三次元空間に投影して、放射線源に基づく画像を再構成する。また、カメラヘッドの各々から出力された検出データの各々から得られるコンプトン円錐を二次元平面に投影した投影像を用いて、放射線源が存在しない領域を排除した三次元空間を特定し、特定された三次元空間において、放射線源に基づく画像を再構成する。

WO 2010/021387 A1



[JP/JP]; 〒2290022 神奈川県相模原市由野台三丁目1番1号 独立行政法人宇宙航空研究開発機構 宇宙科学研究本部内 Kanagawa (JP). 武田伸一郎(TAKEDA, Shinichiro) [JP/JP]; 〒2290022 神奈川県相模原市由野台三丁目1番1号 独立行政法人宇宙航空研究開発機構 宇宙科学研究本部内 Kanagawa (JP). 小高 裕和(ODAKA, Hirokazu) [JP/JP]; 〒2290022 神奈川県相模原市由野台三丁目1番1号 独立行政法人宇宙航空研究開発機構 宇宙科学研究本部内 Kanagawa (JP). 黒田 能克(KURODA, Yoshikatsu) [JP/JP]; 〒4850826 愛知県小牧市大字東田中1200番地 三菱重工株式会社 名古屋誘導推進システム製作所内 Aichi (JP). 加藤 昌浩(KATO, Masahiro) [JP/JP]; 〒4850826 愛知県小牧市大字東田中1200番地 三菱重工株式会社 名古屋誘導推進システム製作所内 Aichi (JP). 玄蕃 恵(GENBA, Kei) [JP/JP]; 〒4850826 愛知県小牧市大字東田中1200番地 三菱重工株式会社 名古屋誘導推進システム製作所内 Aichi (JP).

(74) 代理人: 中島 淳, 外(NAKAJIMA, Jun et al.); 〒1600022 東京都新宿区新宿4丁目3番17号 HK新宿ビル7階 太陽国際特許事務所 Tokyo (JP).

(81) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の国内保護が可能): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IS, KE, KG, KM, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PE, PG, PH, PL, PT, RO, RS, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.

(84) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の広域保護が可能): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LS, MW, MZ, NA, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシア (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), ヨーロッパ (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

添付公開書類:

— 国際調査報告 (条約第 21 条(3))

明 細 書

発明の名称：コンプトンカメラ

技術分野

[0001] 本発明は、コンプトンカメラに係り、特に、ガンマ線トモグラフィー（ガンマ線源の三次元分布画像の取得）に用いるマルチヘッドのコンプトンカメラに関する。

背景技術

[0002] 従来、対象物から放出されたガンマ線をカメラ内に設置されたガンマ線検出器において測定し、ガンマ線源となる核種の分布を推測する装置であるコンプトンカメラを用いて、ガンマ線源の二次元画像を取得することが行われている。コンプトンカメラでは、検出器内でのコンプトン散乱及び光電吸収の連続イベントを計測することによって、ガンマ線の飛来方向をコンプトン円錐として推定できるため、物理的なコリメータを排除できる。また、検出器に高エネルギー分解能を持つ半導体検出器を用いることで、同時多核種放射線のイメージングができることが特徴である。

[0003] これまで、コンプトンカメラは、主に宇宙観測用途に用いられており、最近では核医学検査装置への応用研究が盛んに行われている。宇宙観測用途ではガンマ線の飛来方向の特定を目的としているため、奥行き方向の位置分解能については大きな問題とはならないが、核医学検査装置へ適用する場合には、全ての方向に対して位置分解能を高精度に保つ必要がある。

[0004] そこで、平行に並べた2台の電極分割型平板ゲルマニウム半導体検出器を備え、その前方に位置するガンマ線源から放出されるガンマ線を測定するガンマ線撮像装置において、前方の検出器に入射してコンプトン散乱し、散乱したガンマ線が後方の検出器に入射されて完全に吸収される事象を測定し、この測定事象について、コンプトン円錐を推定し、このような事象を2組以上測定することにより、円錐面が重なり合う位置をガンマ線源の位置として求めてガンマ線放出体の画像を形成するガンマ線撮像装置が提案されている

(例えば、特許文献1参照)。

特許文献1：特開2005-208057号公報

発明の開示

発明が解決しようとする課題

[0005] しかしながら、特許文献1記載のガンマ線撮像装置では、検出器面が十分に大きい場合には、コンプトン円錐の頂点がガンマ線源から見て広い立体角の領域に分散されるため、奥行き方向の位置分解能を十分確保することができるが、検出器を大面積化することは、製造技術やコストの面から困難である。また、検出器面積が小さい場合には、ガンマ線源からみた検出器の占める立体角が小さくなり、奥行き方向の位置分解能が悪化する、という問題がある。また、三次元空間で放射線源に基づく画像の再構成を行う場合に、三次元空間における画素数が大量であるために、画像の再構成に時間がかかる、という問題がある。

[0006] 本発明は、上述した問題を解決するためになされたものであり、検出器を大面積化することなく、奥行き方向の位置分解能を向上させることができるコンプトンカメラを提供することを第1の目的とし、三次元空間での放射線源に基づく画像の再構成にかかる時間を短縮することができるコンプトンカメラを提供することを第2の目的とする。

課題を解決するための手段

[0007] 上記第1の目的を達成するために、第1の発明に係るコンプトンカメラは、対象物から放出された放射線を検出することが可能な位置に配置されると共に、各々放射線によるコンプトン散乱を検出して検出データを出力する複数の検出器と、前記複数の検出器の各々から出力された前記検出データの各々から得られるコンプトン円錐を三次元空間に投影して、放射線源に基づく画像を再構成する再構成手段と、を含んで構成されている。

[0008] 第1の発明に係るコンプトンカメラによれば、各々放射線によるコンプトン散乱を検出して検出データを出力する複数の検出器が、対象物から放出された放射線を検出することが可能な位置に配置され、再構成手段が、複数の

検出器の各々から出力された検出データの各々から得られるコンプトン円錐を三次元空間に投影して、放射線源に基づく画像を再構成する。

[0009] このように、複数の検出器の検出データから得られるコンプトン円錐を三次元空間に投影して放射線源の形状を再構成するため、カメラヘッド各々の奥行き方向の位置分解能の精度を検出器の各々が補い合うため、検出器を大面積化することなく、奥行き方向の位置分解能を向上させることができる。

[0010] また、第1の発明において、前記再構成手段は、前記三次元空間に投影された前記コンプトン円錐の重なりが大きい部分を抽出して、前記放射線源の形状を再構成するようにすることができる。

[0011] 上記第1及び第2の目的を達成するために、第2の発明に係るコンプトンカメラは、対象物から放出された放射線を検出することが可能な位置に配置されると共に、各々放射線によるコンプトン散乱を検出して検出データを出力する複数の検出器と、前記複数の検出器の各々から出力された前記検出データの各々から得られるコンプトン円錐を二次元平面に投影した投影像を用いて、放射線源が存在しない領域を排除した三次元空間を特定する特定手段と、前記複数の検出器の各々から出力された前記検出データの各々から得られるコンプトン円錐を、前記特定手段で特定された三次元空間に投影して、放射線源に基づく画像を再構成する再構成手段と、を含んで構成されている。

[0012] 第2の発明に係るコンプトンカメラによれば、特定手段が、複数の検出器の各々から出力された検出データの各々から得られるコンプトン円錐を二次元平面に投影した投影像を用いて、放射線源が存在しない領域を排除した三次元空間を特定し、再構成手段が、複数の検出器の各々から出力された検出データの各々から得られるコンプトン円錐を、前記特定手段で特定された三次元空間に投影して、放射線源に基づく画像を再構成する。

[0013] このように、二次元平面に投影された投影像に基づいて特定された三次元空間にコンプトン円錐を投影するため、上記効果に加え、投影領域の画素数が大きな三次元空間にコンプトン円錐を直接投影して画像を再構成する場合

に比べて、処理を行う領域が限定されるため、画像の再構成にかかる時間を短縮することができる。

[0014] また、第2の発明において、前記特定手段は、前記検出器毎に、前記二次元平面に投影されたコンプトン円錐の重なりが大きい部分から放射線源の輪郭を推定し、前記検出器の各々の検出面と前記輪郭とに基づいて、前記放射線源が存在しない領域を排除することができる。

[0015] また、上記第1及び第2の発明において、前記検出器によって、被検体に注入した薬剤に含まれる核種から放出される放射線を検出し、前記再構成手段によって前記被検体の診断画像を再構成することができる。

[0016] また、上記第1及び第2の発明における前記検出器は、カメラヘッドである。

発明の効果

[0017] 以上、説明したように、本発明に係るコンプトンカメラによれば、検出器を大面積化することなく、奥行き方向の位置分解能を向上させることができる、という効果が得られる。また、三次元空間で放射線源に基づく画像の再構成を行う場合に、計算すべき画素数を大幅に減らすことで、画像の再構成にかかる時間を短縮することができる、という効果が得られる。

図面の簡単な説明

[0018] [図1A]本実施の形態に係るコンプトンカメラの概略構成を示すブロック図である。

[図1B]本実施の形態に係るコンプトンカメラのカメラヘッドの配置を示す図である。

[図2]カメラヘッドの構成及びコンプトン円錐の推定原理を示す概略図である。

[図3]第1の実施の形態のコンプトンカメラにおける画像再構成処理の処理ルーチンを示すフローチャートである。

[図4]三次元空間に投影したコンプトン円錐の一例を示す図である。

[図5A]三次元空間における逆投影法を説明するための図である。

[図5B] 図5Aの一部拡大図である。

[図6A] 1台のカメラヘッドを備えたコンプトンカメラによる逆投影像を示す図である。

[図6B] 図6Aの逆投影像に対する期待値最大化最尤法による推定結果を示す図である。

[図6C] 図6Bにおける分布のz軸射像を示す図である。

[図7A] 本実施の形態に係るコンプトンカメラによる逆投影像を示す図である。
。

[図7B] 図7Aの逆投影像に対する期待値最大化最尤法による推定結果を示す図である。

[図7C] 図7Bにおける分布のz軸射像を示す図である。

[図8] カメラヘッドの台数と奥行き方向の位置分解能を示す図である。

[図9A] 2本の棒状線源を観測した場合の放射線源及びカメラヘッドの配置を示す図である。

[図9B] 従来技術である二次元の画像再構成で再構成された画像を示す図である。

[図9C] 本実施の形態のコンプトンカメラで再構成された画像を示す図である。
。

[図10] 第2の実施の形態のコンプトンカメラにおける画像再構成処理の処理ルーチンを示すフローチャートである。

[図11A] 第2の実施の形態の領域抽出において、仮定した放射線源の位置における平面を示す図である。

[図11B] 第2の実施の形態の領域抽出において、二次元空間における逆投影法を説明するための図である。

[図11C] 第2の実施の形態の領域抽出において、二次元の画像再構成結果から線源分布の輪郭を抽出した図である。

[図11D] 第2の実施の形態の領域抽出において、領域vの抽出を説明するための図である。

[図11E]第2の実施の形態の領域抽出において、三次元空間で有意に線源が存在する領域Vを抽出した図である。

発明を実施するための最良の形態

- [0019] 以下、図面を参照しながら本発明の実施の形態を詳細に説明する。
- [0020] 図1Aに示すように、第1の実施の形態に係るコンプトンカメラ10は、放射線源20に検出面を対向して配置した2つのカメラヘッド（検出器）12a、12b、画像再構成の制御を行う制御部14、操作指示等の入力を行うためのキーボードやマウス等で構成された入力装置16、及び再構成された画像を表示するための表示装置18で構成されている。
- [0021] カメラヘッド12a、12bは、本発明における検出器であり、図2に示すように、前検出器22及び後検出器24で構成されている。カメラヘッド12a、12bとしては、例えば、前検出器22としてシリコン（Si）、後検出器24としてテルル化カドミウム（CdTe）を用いたSi/CdTe半導体検出器を用いることができる。なお、図2では、説明のため、後検出器24が1枚の場合について記載しているが、本実施の形態のコンプトンカメラ10で用いられるカメラヘッド12a、12bは、複数の後検出器24を備えている。後検出器24を複数備えることにより、より精度よく放射線を検出することができるため、後述するコンプトン円錐の推定精度が向上する。
- [0022] カメラヘッド12a、12bは、各々の検出面の中心を通る法線が直交するように配置されている。図1Bに示すyz座標系で説明すると、座標原点に配置された放射線源20に対して、z軸上に検出面をy軸と平行にしてカメラヘッド12aが配置され、y軸上に検出面をz軸と平行にしてカメラヘッド12bが配置される。
- [0023] 制御部14は、コンプトンカメラ10全体の制御を司るCPU、後述する画像再構成処理のプログラム等各種プログラムを記憶した記憶媒体としてのROM、ワークエリアとしてデータを一時的に格納するRAM、各種情報が記憶された記憶手段としてのHDD（ハードディスク）、ネットワークと接

続するためのネットワーク I/F（インタフェース）部、I/O（入出力）ポート、及びこれらを接続するバス等を含んで構成されている。I/Oポートには、入力装置 16 及び表示装置 18 が接続されている。また、制御部 14 は、カメラヘッド 12 a、12 b とともに接続されており、カメラヘッド 12 a、12 b で検出される検出データが制御部 14 へ入力される。

[0024] ここで、カメラヘッド 12 a、12 b における、放射線によるコンプトン散乱の検出及びコンプトン円錐の推定原理について説明する。カメラヘッド 12 a 及びカメラヘッド 12 b は同じ作用であるので、ここでは、カメラヘッド 12 a について説明し、カメラヘッド 12 b については説明を省略する。

[0025] 図 2 に示すように、放射線源 20 から放出された放射線は、前検出器 22 に入射され、コンプトン散乱して後検出器 24 に入射され、吸収される。カメラヘッド 12 a は、前検出器 22 及び後検出器 24 の放射線入射位置と、前検出器 22 及び後検出器 24 で吸収したエネルギーとを検出データとして出力する。この検出データからコンプトン運動に基づいて散乱角 θ が算出される。これにより、放射線の前検出器 22 への入射位置と後検出器 24 への入射位置とを通る線を中心軸、放射線の前検出器 22 への入射位置を頂点、及び 2θ を頂角とするコンプトン円錐が求められる。放射線源 20 はこの円錐面内に存在するため、検出データを多数取得し、コンプトン円錐を重ねていくことで放射線源 20 の位置を特定できる。

[0026] 次に、図 3 を参照して第 1 の実施の形態のコンプトンカメラ 10 における画像再構成処理の処理ルーチンについて説明する。

[0027] ステップ 100 で、カメラヘッド 12 a、12 b から出力される検出データを取得する。次に、ステップ 102 で、図 4 に示すように、取得した検出データから得られるコンプトン円錐を三次元空間に投影する。図 4 では、一例として、4 つのコンプトン円錐を投影した場合を示しているが、実際には、検出データから得られる全てのコンプトン円錐の投影を行う。

[0028] 次に、ステップ 104 で、投影されたコンプトン円錐に基づいて、逆投影

法により逆投影像を算出する。具体的な方法は、図5Aに示すように、三次元空間を細かな画素、例えば立方体状の画素に分割し、この三次元空間にコンプトン円錐を投影する。コンプトン円錐面を含む1画素分の画素部分を拡大して図5Bに示す。画素毎に、コンプトン円錐面のうち画素の内部に含まれる部分の面積 S に応じた重みをつけて度数を加算する。全ての検出データより得られるコンプトン円錐をそれぞれ投影して、度数を加算することにより、放射線源20が存在する領域に度数が集中した逆投影像が算出される。

[0029] 次に、ステップ106で、上記ステップ104で算出した逆投影像に対して、期待値最大化最尤法を用いて、放射線源20に基づく画像を再構成する。上記ステップ104の処理では、実際には放射線源20が存在しない部分にも度数が表れる場合があるため、さらに精度よく画像を再構成するための処理である。逆投影法によって得られた逆投影像により放射線源20の位置として推定される線源分布に対する検出器の応答を計算し、この計算結果と実際の検出データとを比較して、よりもっともらしい線源分布に近づくように逆投影像に補正を施す。この処理を複数回繰り返して、最終的に実際の線源分布に近い分布を得て、画像を再構成する。

[0030] 次に、ステップ108で、再構成した画像を表示装置18に表示して、処理を終了する。

[0031] ここで、従来技術である一台のカメラヘッドを備えたコンプトンカメラで、点線源を観測した場合の位置分解能のシミュレーション結果の例を、図6A～図6Cに示す。カメラヘッド及び点線源の配置は、図1Aに示す本実施の形態のカメラヘッド12a及び放射線源20の配置と同様である。図6Aは逆投影像、図6Bは図6Aの逆投影像に対する期待値最大化最尤法による推定結果、及び図6Cは図6Bにおける分布の z 軸射像である。図6Bにおいて、度数分布が横長となっており、奥行き方向である z 軸方向の分解能が他の軸(y 軸)の分解能に対して非常に悪いことが分かる。図6Cの z 軸射像をガウシアンで近似すると、標準偏差 σ が約11mm程度であった。

[0032] これに対し、本実施の形態のコンプトンカメラ10によるシミュレーショ

ン結果を図7A～図7Cに示す。図7Aは逆投影像、図7Bは図7Aの逆投影像に対する期待値最大化最尤法による推定結果、及び図7Cは図7Bにおける分布のz軸射像である。図7Cのz軸射像をガウシアンで近似すると、標準偏差 σ が約2.4mmであり、カメラヘッドが一台の場合の結果と比較して改善が見られることがわかる（図8参照）。

[0033] また、図9Aに示すように配置された2本の棒状線源30を、従来技術である二次元の画像再構成の手法により再構成すると、図9Bに示すように、単純にそれぞれのカメラヘッドに対しての射影像が得られるに留まる。しかし、本実施の形態のように、三次元空間で画像再構成を行うことにより、それぞれのカメラヘッドの持つ奥行き方向の位置分解能の情報を捨てることなく画像再構成が可能となり、図9Cに示すように、2本の棒状線源30の位置のずれを反映した画像を得ることができる。

[0034] 以上説明したように、第1の実施の形態に係るコンプトンカメラ10によれば、カメラヘッドを2台配置することにより、奥行き方向の位置分解能を改善することができるため、カメラヘッドの検出面を大面積化することなく、奥行き方向の位置分解能を向上させることができる。また、三次元空間で画像再構成を行うことにより、各カメラヘッドにより撮像された奥行き方向の情報を捨てることなく画像再構成を行うことができ、画像再構成の精度が向上する。

[0035] なお、第1の実施の形態では、2台のカメラヘッドを、検出面の法線が直交するように配置する場合について説明したが、3台以上のカメラヘッドを用いてもよい。また、各カメラヘッドの配置は、他のカメラヘッドの奥行き方向の位置分解能の悪さを補完するように配置するとよい。

[0036] 次に、第2の実施の形態に係るコンプトンカメラについて説明する。第1の実施の形態では、画像を再構成する際、投影法及び期待値最大化最尤法を直接三次元空間に適用した場合について説明したが、第2の実施の形態では、二次元及び三次元での画像再構成を組み合わせた場合について説明する。なお、第2の実施の形態に係るコンプトンカメラの構成は、第1の実施の形

態に係るコンプトンカメラ10と同一であるので、説明を省略する。

- [0037] 図10を参照して、第2の実施の形態のコンプトンカメラ10における画像再構成処理の処理ルーチンについて説明する。なお、第1の実施の形態のコンプトンカメラ10における画像再構成処理と同一の処理については、同一の符号を付して説明を省略する。
- [0038] ステップ200で、取得した検出データから得られるコンプトン円錐を二次元平面に投影する。図11Aに示すように、カメラヘッド12a、12bの各々から放射線源20までの距離を仮定し、仮定した放射線源20の位置で、各カメラヘッド12a、12bの検出面と平行な二次元平面を想定する。なお、放射線源20までの距離は、各カメラヘッド12a、12bの検出面から、カメラヘッド12a、12bの検出面の法線の交点までの距離を用いたり、公知の技術で実際に測定した放射線源20の表面までの距離を用いたりすることができる。
- [0039] この平面に検出データに基づくコンプトン円錐を投影して描かれる楕円を用いて、二次元平面において逆投影法により逆投影像を算出する。具体的には、図11Bに示すように、二次元平面を細かな画素に分割し、各画素に含まれる楕円の長さに応じた重みをつけて度数を加算する。続いて、期待値最大化最尤法を適用して画像再構成を行い、図11Cに示すように、二次元の画像再構成結果から有意な線源分布の輪郭32を抽出する。
- [0040] 次に、ステップ202で、図11Dに示すように、抽出された線源分布の輪郭32上の任意の1点34と、カメラヘッド12a、12b各々の前検出器22の輪郭に対応する検出面上の任意の1点36とを結ぶ直線38群によって張られる領域vを抽出する。図11Eに示すような領域vをカメラヘッド12a、12bの各々について抽出し、全ての領域vの共通部分から、さらに三次元空間で有意に線源が存在する領域Vを抽出する。
- [0041] 次に、ステップ204で、第1の実施の形態の画像再構成処理のステップ102と同様の処理により、上記ステップ202で抽出された領域Vに含まれる三次元空間に検出データに基づくコンプトン円錐を投影し、続くステッ

プ104及びステップ106で、逆投影法及び期待値最大化最尤法により放射線源20に基づく画像を再構成する。

[0042] 以上説明したように、第2の実施の形態に係るコンプトンカメラによれば、二次元での画像再構成と比較して画素数が多くなり、かつ求めるべき分布の自由度が一つ増える三次元での画像再構成の際に、絞り込まれた領域だけを対象に処理を行うことで、直接三次元で画像再構成を行う場合に比べ、画像再構成にかかる時間を短縮することができる。

[0043] なお、第2の実施の形態では、上記ステップ200において、二次元平面において逆投影法及び期待値最大化最尤法を適用して画像再構成を行う場合について説明したが、特にこれに限定されず、フーリエ変換法などを用いて画像再構成を行ってもよい。

符号の説明

- [0044] 10 コンプトンカメラ
12a カメラヘッド（検出器）
12b カメラヘッド（検出器）
14 制御部
16 入力装置
18 表示装置
20 放射線源

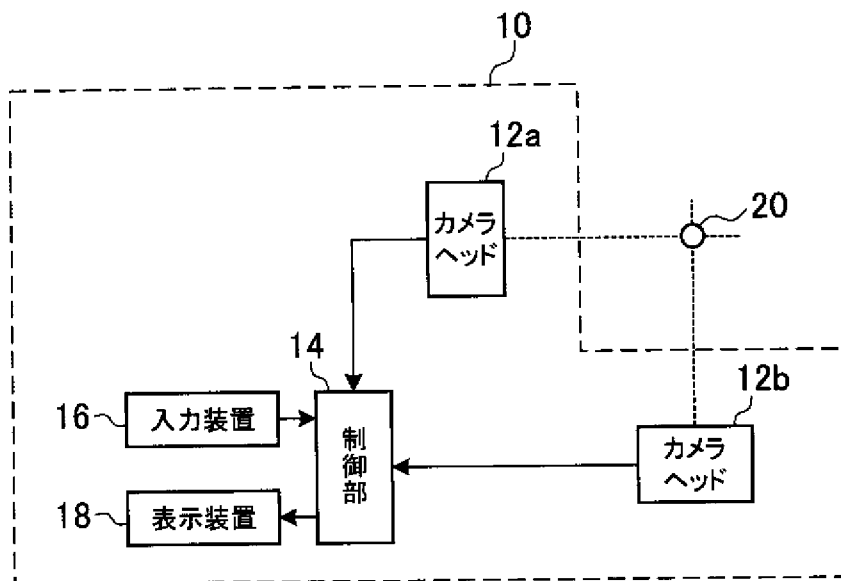
請求の範囲

- [請求項1] 対象物から放出された放射線を検出することが可能な位置に配置されると共に、各々放射線によるコンプトン散乱を検出して検出データを出力する複数の検出器と、
- 前記複数の検出器の各々から出力された前記検出データの各々から得られるコンプトン円錐を三次元空間に投影して、放射線源に基づく画像を再構成する再構成手段と、
- を含むコンプトンカメラ。
- [請求項2] 前記再構成手段は、前記三次元空間に投影された前記コンプトン円錐の重なりの度合いが大きい部分を抽出して、前記放射線源に基づく画像を再構成する請求項1記載のコンプトンカメラ。
- [請求項3] 対象物から放出された放射線を検出することが可能な位置に配置されると共に、各々放射線によるコンプトン散乱を検出して検出データを出力する複数の検出器と、
- 前記複数の検出器の各々から出力された前記検出データの各々から得られるコンプトン円錐を二次元平面に投影した投影像を用いて、放射線源が存在しない領域を排除した三次元空間を特定する特定手段と、
- 前記複数の検出器の各々から出力された前記検出データの各々から得られるコンプトン円錐を、前記特定手段で特定された三次元空間に投影して、放射線源に基づく画像を再構成する再構成手段と、
- を含むコンプトンカメラ。
- [請求項4] 前記特定手段は、前記検出器毎に、前記二次元平面に投影されたコンプトン円錐の重なりの度合いが大きい部分から放射線源の輪郭を推定し、前記検出器の各々の検出面及び前記輪郭に基づいて、前記放射線源が存在しない領域を排除する請求項3記載のコンプトンカメラ。
- [請求項5] 前記検出器によって、被検体に注入した薬剤に含まれる核種から放出される放射線を検出し、前記再構成手段によって前記被検体の診断

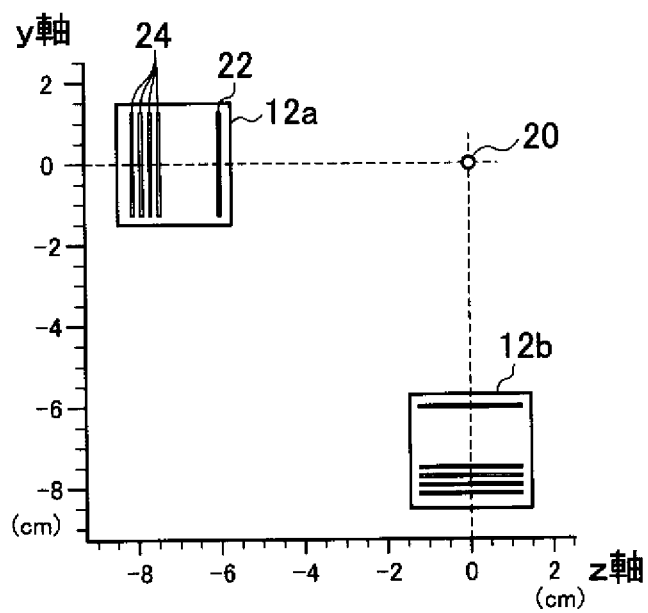
画像を再構成するようにした請求項 1～請求項 4 のいずれか 1 項記載のコンプトンカメラ。

[請求項6] 前記検出器は、カメラヘッドである請求項 1～請求項 5 のいずれか 1 項記載のコンプトンカメラ。

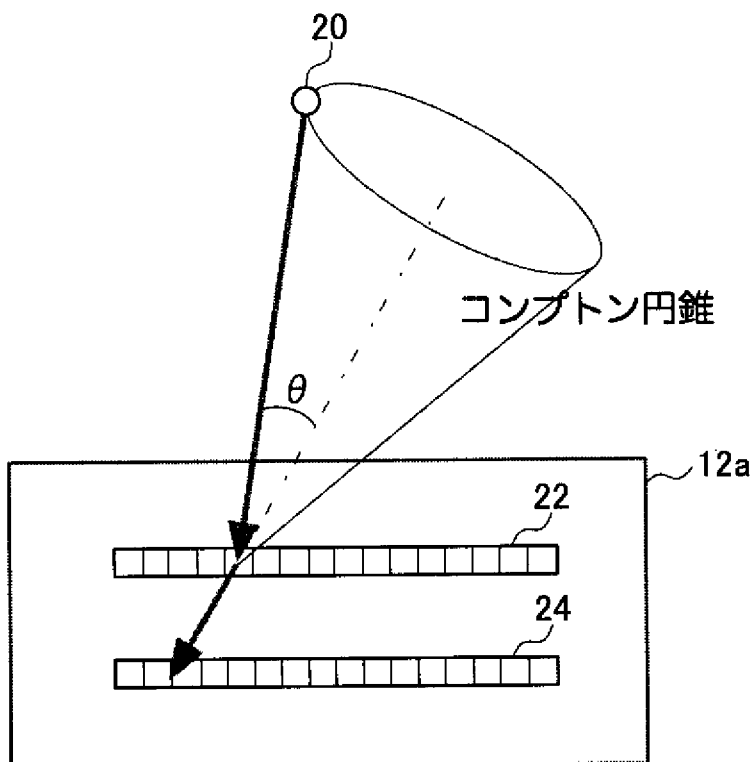
[図1A]



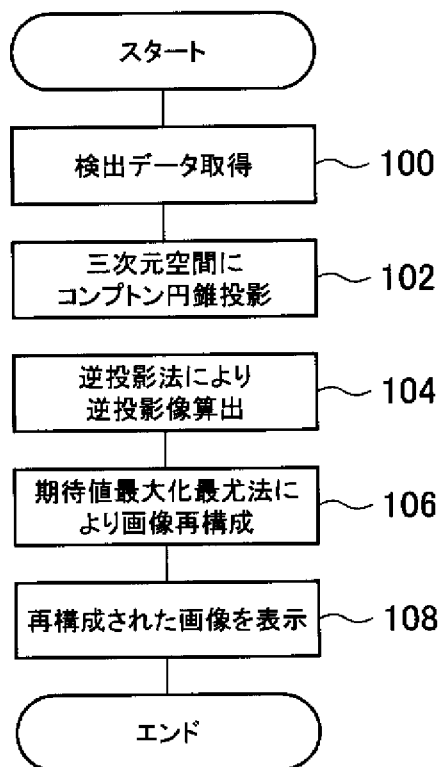
[図1B]



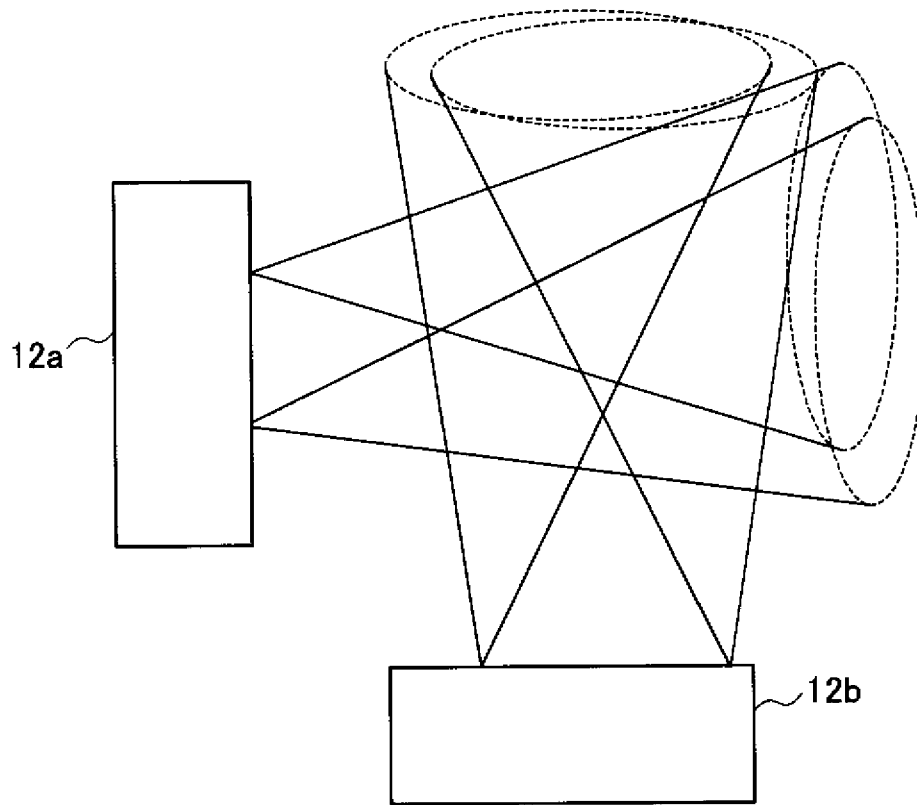
[図2]



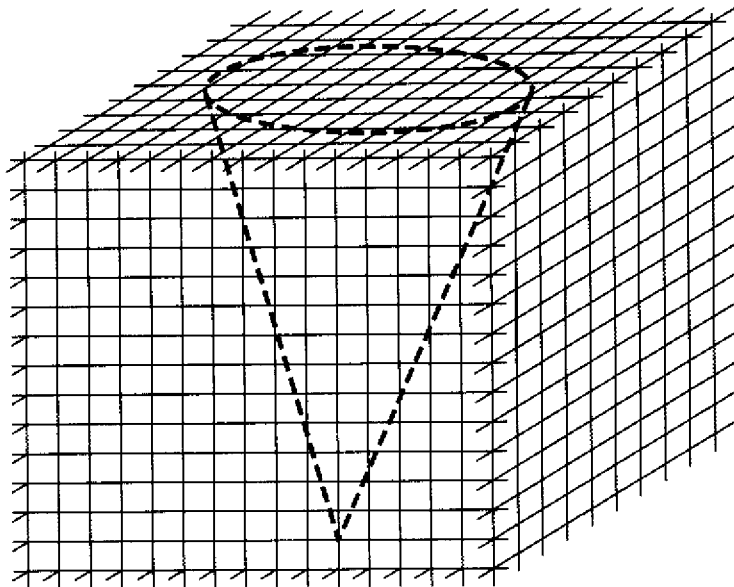
[図3]



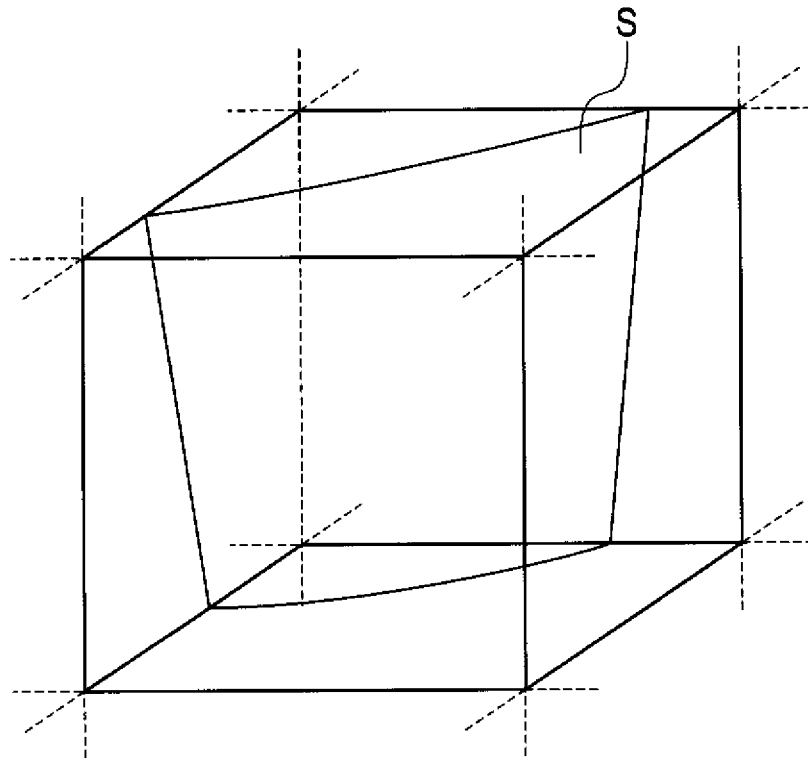
[図4]



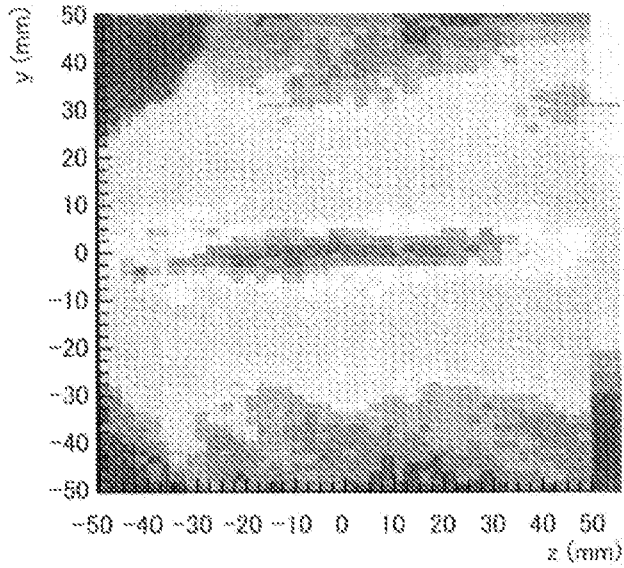
[図5A]



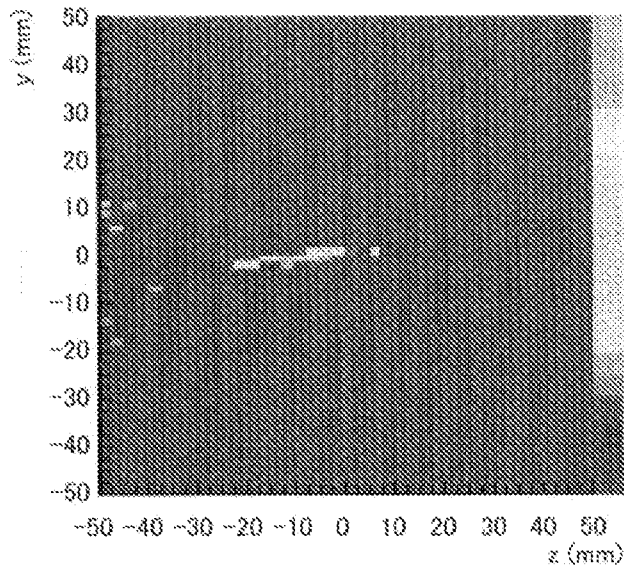
[図5B]



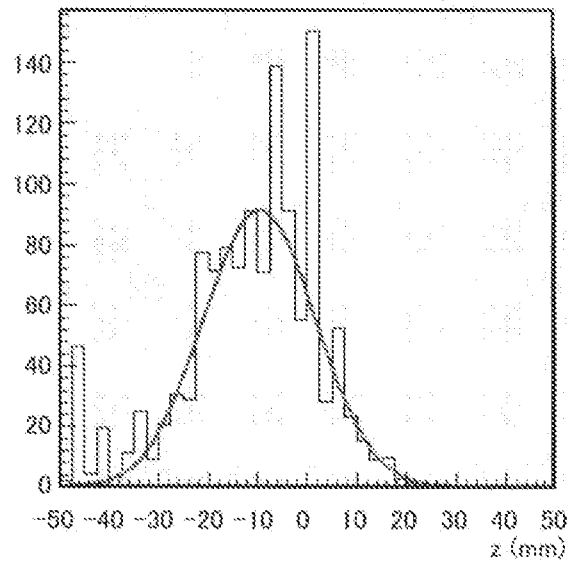
[図6A]



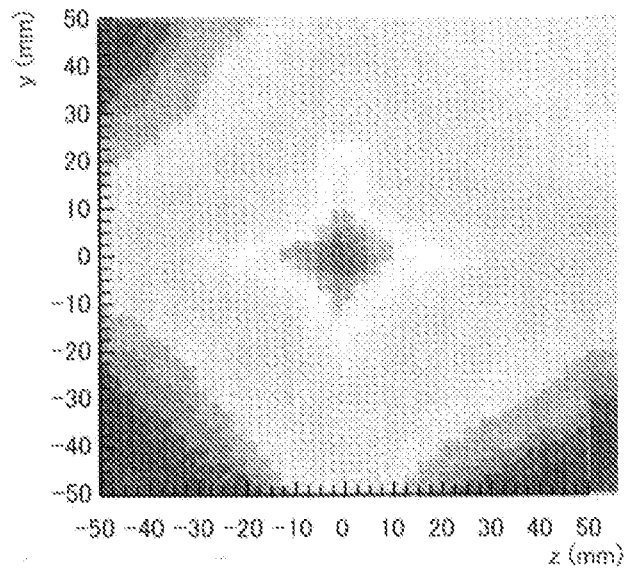
[図6B]



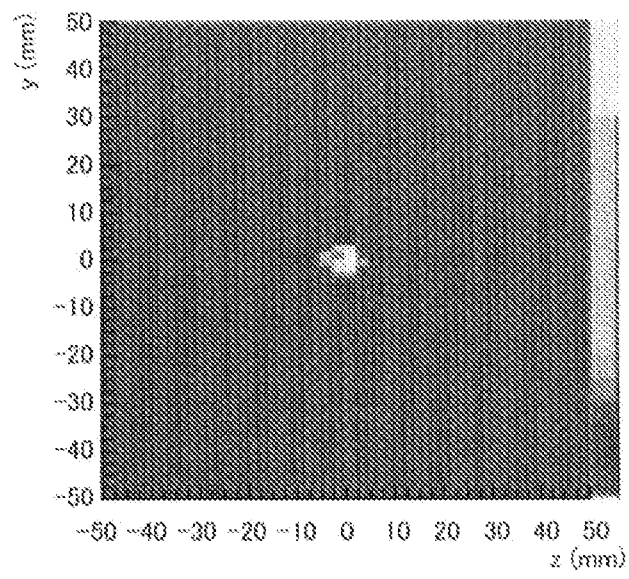
[図6C]



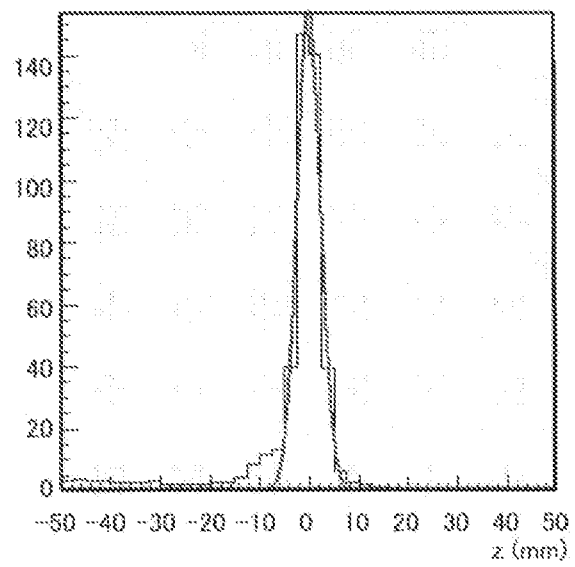
[図7A]



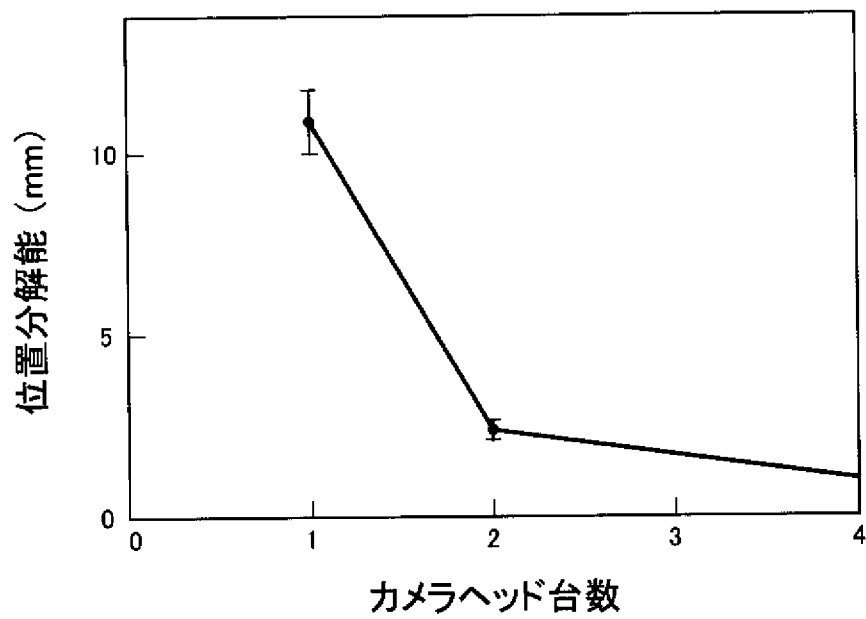
[図7B]



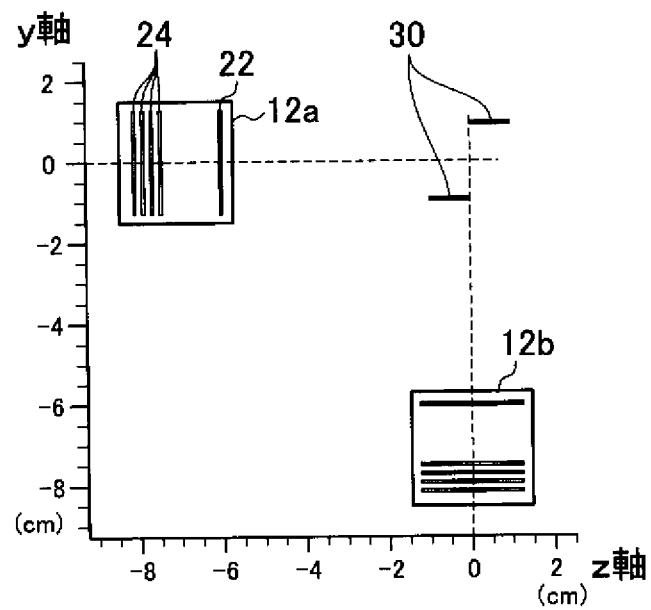
[図7C]



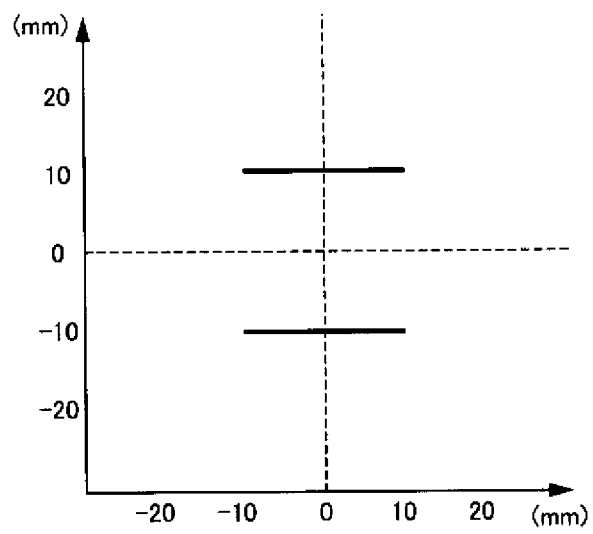
[図8]



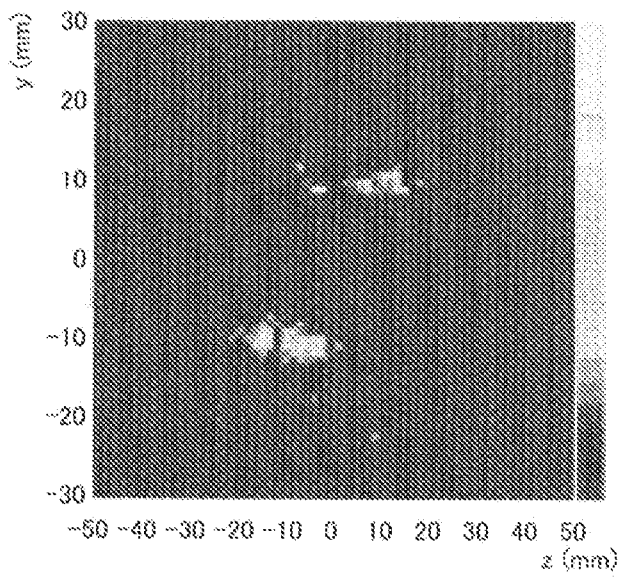
[図9A]



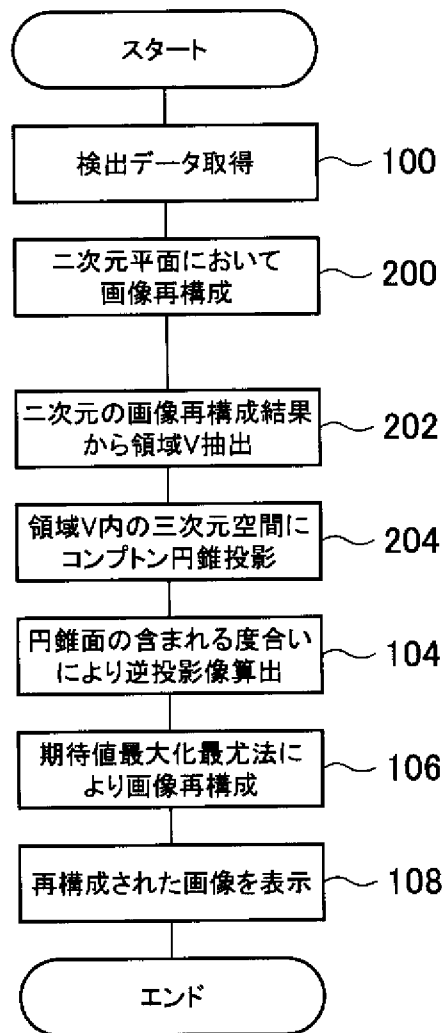
[図9B]



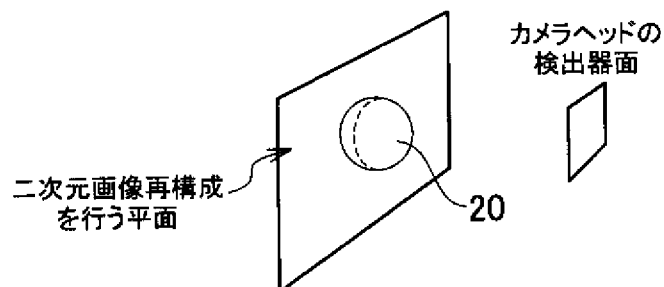
[図9C]



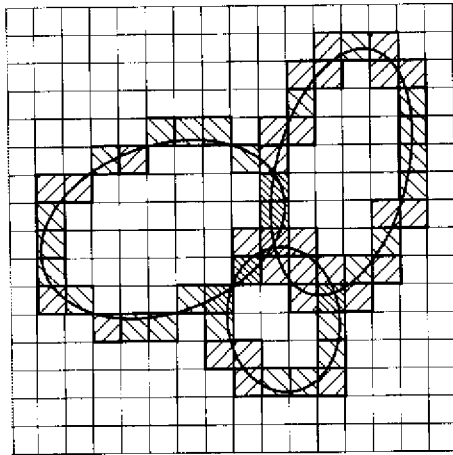
[図10]



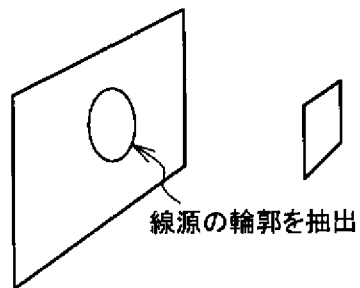
[図11A]



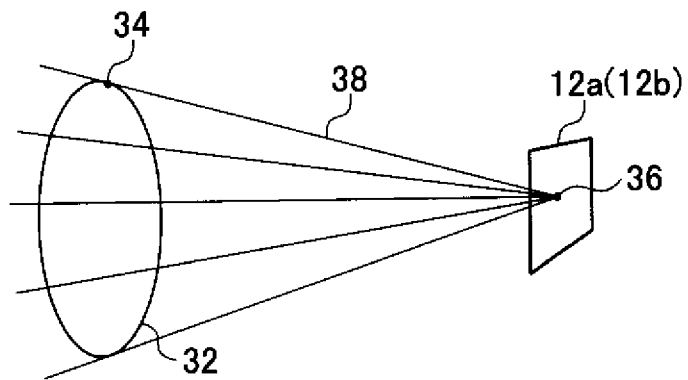
[図11B]



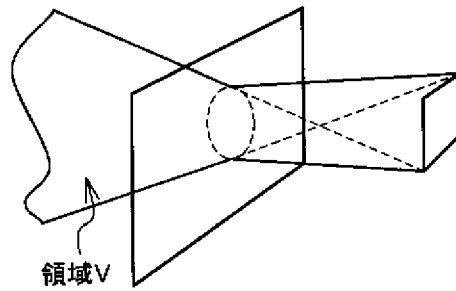
[図11C]



[図11D]



[図11E]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No. PCT/JP2009/064671
--

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
G01T1/161(2006.01)i, G01T1/29(2006.01)i

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)
G01T1/161, G01T1/29

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Jitsuyo Shinan Koho	1922-1996	Jitsuyo Shinan Toroku Koho	1996-2009
Kokai Jitsuyo Shinan Koho	1971-2009	Toroku Jitsuyo Shinan Koho	1994-2009

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X A	US 6484051 B1 (James Daniel), 19 November, 2002 (19.11.02), Column 9, line 13 to column 13, line 20; Figs. 1 to 3 (Family: none)	1-2, 5-6 3-4
A	JP 6-201832 A (Toshiba Corp.), 22 July, 1994 (22.07.94), Full text; Figs. 1 to 9 (Family: none)	1-6
A	WO 2007/145154 A1 (Hitachi Medical Corp.), 21 December, 2007 (21.12.07), Full text; Figs. 1 to 16 (Family: none)	1-6

Further documents are listed in the continuation of Box C. See patent family annex.

* Special categories of cited documents:	"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance	"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date	"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art
"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)	"&" document member of the same patent family
"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means	
"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed	

Date of the actual completion of the international search 17 September, 2009 (17.09.09)	Date of mailing of the international search report 06 October, 2009 (06.10.09)
--	---

Name and mailing address of the ISA/ Japanese Patent Office	Authorized officer
Facsimile No.	Telephone No.

A. 発明の属する分野の分類 (国際特許分類 (IPC))

Int.Cl. G01T1/161(2006.01)i, G01T1/29(2006.01)i

B. 調査を行った分野

調査を行った最小限資料 (国際特許分類 (IPC))

Int.Cl. G01T1/161, G01T1/29

最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの

日本国実用新案公報	1922-1996年
日本国公開実用新案公報	1971-2009年
日本国実用新案登録公報	1996-2009年
日本国登録実用新案公報	1994-2009年

国際調査で使用した電子データベース (データベースの名称、調査に使用した用語)

C. 関連すると認められる文献

引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求項の番号
X A	US 6484051 B1 (James Daniel) 2002. 11. 19, 第9欄第13行-第13欄第20行, 第1-3図 (ファミリーなし)	1-2, 5-6 3-4
A	JP 6-201832 A (株式会社東芝) 1994. 07. 22, 全文, 第1-9図 (ファミリーなし)	1-6
A	WO 2007/145154 A1 (株式会社日立メディコ) 2007. 12. 21, 全文, 第1-16図 (ファミリーなし)	1-6

☐ C欄の続きにも文献が列挙されている。

☐ パテントファミリーに関する別紙を参照。

* 引用文献のカテゴリー

「A」特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの
 「E」国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの
 「L」優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献 (理由を付す)
 「O」口頭による開示、使用、展示等に言及する文献
 「P」国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願

の日の後に公表された文献
 「T」国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの
 「X」特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの
 「Y」特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの
 「&」同一パテントファミリー文献

国際調査を完了した日

17. 09. 2009

国際調査報告の発送日

06. 10. 2009

国際調査機関の名称及びあて先

日本国特許庁 (ISA/J P)
 郵便番号100-8915
 東京都千代田区霞が関三丁目4番3号

特許庁審査官 (権限のある職員)

原 俊文

電話番号 03-3581-1101 内線 3292

2Q

4078