

(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

(43) 国際公開日
2017 年 4 月 6 日(06.04.2017)



(10) 国際公開番号
WO 2017/056680 A1

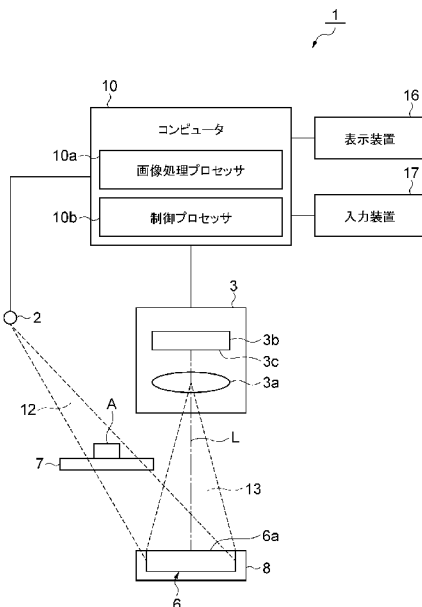
- (51) 国際特許分類:
G01T 1/20 (2006.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2016/072441
- (22) 国際出願日: 2016 年 7 月 29 日(29.07.2016)
- (25) 国際出願の言語: 日本語
- (26) 国際公開の言語: 日本語
- (30) 優先権データ:
特願 2015-194643 2015 年 9 月 30 日(30.09.2015) JP
- (71) 出願人: 浜松ホトニクス株式会社(HAMAMATSU PHOTONICS K.K.) [JP/JP]; 〒4358558 静岡県浜松市東区市野町 1 1 2 6 番地の 1 Shizuoka (JP).
- (72) 発明者: 杉山 元胤(SUGIYAMA Mototsugu); 〒4358558 静岡県浜松市東区市野町 1 1 2 6 番地の 1 浜松ホトニクス株式会社内 Shizuoka (JP). 大西 達也(ONISHI Tatsuya); 〒4358558 静岡県浜松市東区市野町 1 1 2 6 番地の 1 浜松ホトニクス株式会社内 Shizuoka (JP). 須山 敏康(SUYAMA Toshiyasu); 〒4358558 静岡県浜松市東区市野町 1 1 2 6 番地の 1 浜松ホトニクス株式会社内 Shizuoka (JP).
- (74) 代理人: 長谷川 芳樹, 外(HASEGAWA Yoshiki et al.); 〒1000005 東京都千代田区丸の内二丁目 1 番 1 号丸の内 M Y P L A Z A (明治安田生命ビル) 9 階 創英国際特許法律事務所 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, BN, 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, IR, IS, JP, KE, KG, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, 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, LR, LS, MW,

[続葉有]

(54) Title: RADIOGRAPHIC IMAGE ACQUISITION SYSTEM AND RADIOGRAPHIC IMAGE ACQUISITION METHOD

(54) 発明の名称: 放射線画像取得システムおよび放射線画像取得方法

【図1】



10... COMPUTER
10a... IMAGE-PROCESSING PROCESSOR
10b... CONTROL PROCESSOR
16... DISPLAY DEVICE
17... INPUT DEVICE

(57) Abstract: A radiographic image acquisition system is provided with: a radiation source for outputting radiation toward a subject; a scintillator that is opaque to scintillation light and that has a receiving surface for receiving the radiation having passed through the subject, the scintillator converting the radiation received on the receiving surface into scintillation light; an imaging means for outputting radiation image data pertaining to the subject A, the imaging means having a lens unit for focusing on the receiving surface and forming an image from the scintillation light outputted from the receiving surface, and an imaging unit that captures an image of the scintillation light formed by the lens unit; and an image production unit for producing a radiation image of the subject on the basis of the radiation image data outputted from the imaging means.

(57) 要約: 放射線画像取得システムは、対象物に向けて放射線を出力する放射線源と、放射線源から出力され、対象物を透過した放射線が入力される入力面を有し、入力面に入力された放射線をシンチレーション光に変換する、前記シンチレーション光に対して不透明なシンチレータと、入力面に焦点が合い、入力面から出力されるシンチレーション光を結像するレンズ部と、レンズ部により結像されたシンチレーション光を撮像する撮像部とを有し、対象物Aの放射線画像データを出力する撮像手段と、撮像手段から出力された放射線画像データに基づいて、対象物の放射線画像を作成する画像作成部と、を備える。



MZ, NA, RW, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユー
ラシア (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), ヨー
ロッパ (AL, 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, RS, SE, SI, SK,

SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ,
GW, KM, 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：放射線画像取得システムおよび放射線画像取得方法 技術分野

[0001] 本開示は、放射線画像取得システムおよび放射線画像取得方法に関する。

背景技術

[0002] 特許文献1に記載されるように、X線発生源から照射され、被検査物を透過したX線を光に変換する蛍光板と、この蛍光板を撮像するCCDカメラとを備えたX線検査装置が知られている。この装置では、X線の照射面に位置する表面蛍光板と、その裏側に位置する裏面蛍光板と、それらの間に位置する金属フィルタとからなる蛍光板が用いられている。CCDカメラは、高エネルギー用CCDカメラと低エネルギー用CCDカメラとからなる。被検査物を透過したX線は、表面蛍光板および裏面蛍光板においてシンチレーション光に変換され、上記2台のCCDカメラによって撮像が行われる。

先行技術文献

特許文献

[0003] 特許文献1：特開2008-164429号公報

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0004] 本発明者らは、いわゆるシンチレータ両面観察方式(DSSD; Double-Sided Scintillation Detector)が適用された放射線画像取得システムを開発している。この方式は、シンチレータの表の面から出力されるシンチレーション光を低エネルギー用カメラで撮像し、シンチレータの裏の面から出力されるシンチレーション光を高エネルギー用カメラでそれぞれ撮像する方式である。

[0005] ところで、従来、放射線画像の対象物は、放射線透過率の異なる物質で構成されることを前提とし、放射線透過率の違いにより放射線画像においてコントラストの違いが現れると考えられてきた。そのため、シンチレータ両面

観察方式による撮影では、放射線透過率の高い物質は低エネルギー用カメラを用いて撮像し、放射線透過率の低い物質は高エネルギー用カメラを用いて撮像するように構成されている。ここで、プラスチック製の薄いシート状体上にインクで文字や模様等が印刷されている場合、プラスチックとインクの放射線透過率が同程度であるため、従来は、放射線画像では識別が難しいとされていた。また、プラスチック製の薄いシート状体に厚みが違う部分がある場合、放射線透過率が同じであるため、厚みの違いによる形状の識別は難しいとされていた。

[0006] 本開示は、鮮明な放射線画像を取得することができる放射線画像取得システムおよび放射線画像取得方法を説明する。

課題を解決するための手段

[0007] 本開示の一態様は、対象物の放射線画像を取得する放射線画像取得システムにおいて、対象物に向けて放射線を出力する放射線源と、放射線源から出力され、対象物を透過した放射線が入力される入力面を有し、入力面に入力された放射線をシンチレーション光に変換する、シンチレーション光に対して不透明なシンチレータと、入力面に焦点が合い、入力面から出力されるシンチレーション光を結像するレンズ部と、レンズ部により結像されたシンチレーション光を撮像する撮像部とを有し、対象物の放射線画像データを出力する撮像手段と、撮像手段から出力された放射線画像データに基づいて、対象物の放射線画像を作成する画像作成部と、を備える。

[0008] 本開示の他の態様は、対象物の放射線画像を取得する放射線画像取得方法において、対象物に向けて放射線源から放射線を出力する工程（放射線出力工程）と、対象物を透過した放射線が入力される入力面を有する、シンチレーション光に対して不透明なシンチレータを用い、入力面に入力された放射線をシンチレーション光に変換する工程（変換工程）と、入力面に焦点が合うレンズ部を用い、入力面から出力されるシンチレーション光を撮像部に結像する工程（結像工程）と、撮像部を用いて、レンズ部により結像されたシンチレーション光を撮像し、対象物の放射線画像データを出力する工程（撮

像工程）と、放射線画像データに基づいて、対象物の放射線画像を作成する工程（画像作成工程）と、を含む。

[0009] 上記の放射線画像取得システムおよび放射線画像取得方法によれば、シンチレータの入力面から出力されるシンチレーション光は、その入力面に焦点が合わせられたレンズ部によって撮像部に結像される。そして、対象物の放射線画像データが出力され、この放射線画像データに基づいて、対象物の放射線画像が作成される。ここで、放射線からシンチレーション光への変換には、不透明なシンチレータが用いられている。加えて、シンチレータの入力面から出力されるシンチレーション光が撮像されている。これらの特徴を備えることにより、たとえば、放射線透過率が同程度の物質で構成された対象物に対しても、わずかな放射線透過率の違いや厚みの違いにより、コントラストの違いがある放射線画像を得ることができる。これによって、対象物の外形や、その上に印刷された文字若しくは模様等を画像から識別することができる。特に、判別が難しいとされている軽元素からなる対象物の形状や模様等をはっきりと識別可能な放射線画像を取得することができる。ここで、放射線透過率が同程度の物質で構成された対象物としては、例えば、プラスチック類とインクのように、放射線透過率がわずかに違う物質で構成された対象物でもよいし、例えばプレスされたプラスチック類のように、同じ放射線透過率の物質で構成され厚みが違う部分を有する対象物でもよい。

[0010] 放射線画像取得システムのいくつかの態様において、レンズ部は、入力面と対向するように配置されている。この場合、簡易な構成で、入力面から出力されるシンチレーション光を撮像することができる。

[0011] いくつかの態様において、放射線画像取得システムは、放射線源とシンチレータとの間に配置されて、対象物を搬送方向に搬送する搬送装置を更に備える。この場合、たとえばラインスキャンカメラを用い、対象物の搬送速度に合わせて撮像を行うことで、より高速に放射線画像を取得することができる。また、エリアセンサカメラを用い、撮像タイミングに合わせて放射線源を点灯させてもよい。

- [0012] 放射線画像取得システムのいくつかの態様において、撮像部は、時間遅延積分（TDI；Time Delay Integration）駆動が可能なエリアイメージセンサであり、搬送装置による対象物の移動に同期して、受光面における電荷転送を行う。この場合、S/N比のよい放射線画像を取得することができる。
- [0013] 放射線画像取得システムのいくつかの態様において、放射線源の管電圧は10kV～300kVの範囲内で調整可能であり、シンチレータの厚みは10μm～1000μmの範囲内である。
- [0014] 放射線画像取得システムのいくつかの態様において、放射線源の管電圧は150kV～1000kVの範囲内で調整可能であり、シンチレータの厚みは100μm～50000μmの範囲内である。
- [0015] 放射線画像取得システムのいくつかの態様において、画像作成部は、少なくともシンチレータの厚みに対応したコントラスト変換のためのルックアップテーブルに基づいて、対象物の前記放射線画像を作成する。この場合、シンチレータの厚みに応じて、入力面の撮像で得られた放射線画像のコントラストが変化しても適切にコントラスト変換することができる。
- [0016] 放射線画像取得システムのいくつかの態様において、放射線源は、20keV以下の特性X線を含む放射線を出力し、対象物を透過し、シンチレータによって変換される放射線は、20keV以下の特性X線を含む。
- [0017] 放射線画像取得方法のいくつかの態様において、放射線源とシンチレータとの間に配置された搬送装置を用い、対象物を搬送方向に搬送する工程（搬送工程）を更に備える。この場合、たとえばラインスキャンカメラを用い、対象物の搬送速度に合わせて撮像を行うことで、より高速に放射線画像を取得することができる。また、エリアセンサカメラを用い、撮像タイミングに合わせて放射線源を点灯させてもよい。
- [0018] 放射線画像取得方法のいくつかの態様において、撮像部は、時間遅延積分駆動が可能なエリアイメージセンサであり、撮像工程では、搬送装置による対象物の移動に同期して、エリアイメージセンサの受光面における電荷転送

を行う。この場合、 S/N 比のよい放射線画像を取得することができる。

[0019] 放射線画像取得方法のいくつかの態様において、シンチレータの厚みは $10\mu\text{m} \sim 1000\mu\text{m}$ の範囲内であり、放射線出力工程では、放射線源の管電圧を $10\text{kV} \sim 300\text{kV}$ の範囲内とする。

[0020] 放射線画像取得方法のいくつかの態様において、シンチレータの厚みは $100\mu\text{m} \sim 50000\mu\text{m}$ の範囲内であり、放射線出力工程では、放射線源の管電圧を $150\text{kV} \sim 1000\text{kV}$ の範囲内とする。

[0021] 放射線画像取得方法のいくつかの態様において、画像作成工程では、少なくともシンチレータの厚みに対応したコントラスト変換のためのルックアップテーブルに基づいて、対象物の放射線画像を作成する。この場合、シンチレータの厚みに応じて、入力面の撮像で得られた放射線画像のコントラストが変化しても適切にコントラスト変換することができる。

[0022] 放射線画像取得方法のいくつかの態様において、放射線出力工程では、 20keV 以下の特性X線を含む放射線を出力し、変換工程では、対象物を透過し、 20keV 以下の特性X線を含む放射線をシンチレーション光に変換する。

発明の効果

[0023] 本開示のいくつかの態様によれば、鮮明な放射線画像を取得することができる。

図面の簡単な説明

[0024] [図1]図1は、本開示の第1実施形態に係る放射線画像取得装置の概略構成を示す図である。

[図2]図2は、本開示の第2実施形態に係る放射線画像取得装置の概略構成を示す図である。

[図3]図3(a)は実施例に係る撮像手段の配置を示す図、図3(b)は比較例に係る撮像手段の配置を示す図である。

[図4]図4は、対象物としてのプラスチック製の食品包装を示す写真である。

[図5]図5(a)は第1実施例に係る放射線画像を示す図、図5(b)は第1

比較例に係る放射線画像を示す図である。

[図6]図6 (a) は第2実施例に係る放射線画像を示す図、図6 (b) は第2比較例に係る放射線画像を示す図である。

[図7]図7 (a) は第3実施例に係る放射線画像を示す図、図7 (b) は第3比較例に係る放射線画像を示す図である。

[図8]図8 (a) は第4実施例に係る放射線画像を示す図、図8 (b) は第4比較例に係る放射線画像を示す図である。

[図9]図9 (a) は第5比較例に係る放射線画像を示す図、図9 (b) は第6比較例に係る放射線画像を示す図である。

[図10]図10 (a) はシミュレーションに用いられたX線エネルギースペクトルを示す図、図10 (b) は補正前のX線エネルギースペクトルで行ったシミュレーション結果を示す図、図10 (c) は補正後のX線エネルギースペクトルで行ったシミュレーション結果を示す図である。

発明を実施するための形態

[0025] 以下、本開示の実施形態について、図面を参照しながら説明する。なお、図面の説明において同一要素には同一符号を付し、重複する説明は省略する。また、各図面は説明用のために作成されたものであり、説明の対象部位を特に強調するように描かれている。そのため、図面における各部材の寸法比率は、必ずしも実際のものとは一致しない。

[0026] 図1に示されるように、放射線画像取得システム1は、対象物Aの放射線画像を取得するための装置である。対象物Aは、たとえば、軽元素からなる組成を有する。ただし、対象物Aの組成はこれに限らない。

[0027] 対象物Aとしては、放射線透過率がわずかに違う物質で構成された対象物でもよい。このような対象物としては、例えば、インクが印刷されたプラスチック類あるいはフィルムや、寄生虫や髪の毛などの異物が存在する食品、樹脂などの軽元素物質に含まれる空隙や気泡、炭素繊維やエンジニアリングプラスチックなど複合素材の内部構造、塗装の内部構造などである。また、対象物Aとしては、同じ放射線透過率の物質で構成され厚みが違う部分を有

する対象物でもよい。このような対象物としては、プレスされたプラスチックや透かしを有する紙類、微細加工により作られた半導体デバイス、電池の構成材であるセパレータや電極、その周辺構造などである。このように、対象物 A は、従来の放射線画像では識別が難しいとされていた、放射線透過率が同程度の物質で構成されていてもよい。このような対象物 A は、従来の放射線画像取得システムでは撮像の対象とされていなかった。しかし、放射線画像取得システム 1 では、対象物 A が軽元素からなる組成を有していたり、放射線透過率が同程度の物質で構成されていたりしても、コントラストがある放射線画像を取得することを可能とする。放射線画像取得システム 1 によって取得された放射線画像によれば、上記したような対象物 A の外形や、その上に印刷された文字若しくは模様等を画像から識別することができる。

[0028] 放射線画像取得システム 1 は、対象物 A に向けて白色 X 線等の放射線を出力する放射線源 2 と、放射線源 2 から出力されて対象物 A を透過した放射線の入力に応じてシンチレーション光を発生させるシンチレータ 6 と、シンチレータ 6 の放射線の入力面 6 a から出力されるシンチレーション光を撮像するカメラ（撮像手段）3 と、放射線画像取得システム 1 のいくつかの機能を制御し、かつ放射線画像を作成するコンピュータ 10 と、を備えている。放射線画像取得システム 1 は、さらに、対象物 A を保持する対象物保持部 7 と、シンチレータ 6 を保持するシンチレータ保持部 8 とを備えている。

[0029] 放射線源 2、カメラ 3、対象物保持部 7 およびシンチレータ保持部 8 は、図示しない筐体に收容され、筐体内で固定される。放射線源 2、カメラ 3、対象物保持部 7 およびシンチレータ保持部 8 のすべて又は少なくとも 1 つは、互いの相対的な位置関係を調節可能なように、移動可能であってもよい。コンピュータ 10 は、筐体に收容されてもよいし、筐体の外部に設置されてもよい。コンピュータ 10 には、表示装置（表示部）16 および入力装置（入力部）17 がそれぞれ接続されている。

[0030] 光源である放射線源 2 は、対象物 A に照射される X 線を出射（出力）する。例えば、放射線源 2 は、X 線出射点からコーンビーム X 線を出射（出力）

する。放射線源 2 から出射される X 線は放射線束 1 2 を形成する。この放射線束 1 2 が存在する領域が、放射線源 2 の出射領域である。放射線源 2 は、20 keV 以下の特性 X 線（蛍光 X 線）を含む放射線を出力する。放射線源 2 は、10～20 keV の特性 X 線を含む放射線を出力してもよい。放射線源 2 は、軟 X 線を含む放射線を出力してもよい。放射線源 2 は、管電圧および管電流を調整可能に構成されている。放射線源 2 における管電圧は、少なくとも 10 kV～1000 kV の間で調整可能である。放射線源 2 における管電流は、少なくとも 10 μ A～500 mA の間で調整可能である。20 keV 以下の特性 X 線は、線源のターゲット材料によって異なり得る。たとえば、タングステン（W）では、L 線の特性 X 線（9.8 keV）を含み、モリブデン（Mo）では、K 線の特性 X 線（17.4 keV）を含む。

[0031] 放射線源 2 は、放射線の光軸がシンチレータ 6 の入力面 6 a の法線に対して所定の角度をなすように配置されている。すなわち、放射線源 2 は、対象物 A および入力面 6 a に対峙すると共に、入力面 6 a の法線から外れた位置に配置されている。換言すれば、放射線源 2 は、その光軸と入力面 6 a とのなす角度が 0 度より大きく 90 度より小さくなるように配置されている。なお、放射線源 2 は、入力面 6 a の法線上に配置されてもよい。

[0032] 対象物保持部 7 は、放射線源 2 とシンチレータ保持部 8 との間に配置されている。対象物保持部 7 は、対象物 A が少なくとも放射線束 1 2 内に位置する状態で、対象物 A を保持する。対象物保持部 7 は、放射線源 2 に対向する側に対象物 A を保持する。対象物 A と放射線源 2 との間には、20 keV 以下の特性 X 線（蛍光 X 線）を含む放射線を低減するフィルタ等は配置しないことが好ましい。これにより、対象物 A に対して、20 keV 以下の特性 X 線（蛍光 X 線）を含む放射線を照射することができる。対象物保持部 7 は、対象物 A を透過した放射線に与える影響が小さくなる（最小限となる）ように設けられている。例えば、カーボンなど炭素繊維を有するものやプラスチック類、フィルム、金属を含む薄膜など低元素の物質によるもので対象物保持部 7 を作成してもよい。また、対象物 A より小さな開口部を対象物保持部

7 に設けて観察視野に対象物保持部 7 が入らないようにしてもよい。対象物 A を対象物保持部 7 で保持する際に保持部を観察視野の外に置いてよい。また、対象物 A と対象物保持部 7 が画像上で重ならないように、対象物 A と対象物保持部 7 を配置してもよい。

[0033] シンチレータ 6 は、板状（例えば、平板状）の波長変換部材である。シンチレータ 6 は、対象物 A を透過した放射線が入力される入力面 6 a を有する。入力面 6 a は、放射線源 2 に対面する表側の面（おもて面）である。この入力面 6 a は、放射線画像取得システム 1 における観察面になっている。放射線画像取得システム 1 は、シンチレータ 6 の入力面 6 a を観察面としている。

[0034] シンチレータ 6 は、対象物 A を透過し入力面 6 a に入力された放射線をシンチレーション光に変換する。シンチレータ 6 は、対象物 A を透過し、入力面 6 a に入力される、20 keV 以下の特性 X 線を含む放射線をシンチレーション光に変換する。比較的低いエネルギーの放射線は、入力面 6 a 側で変換され、入力面 6 a から出射（出力）される。比較的高いエネルギーの放射線は、シンチレータ 6 の裏面で変換されるため、入力面 6 a から出射されにくい。そのため、入力面 6 a を観察面とする放射線画像取得システム 1 では、比較的低いエネルギーの放射線から変換されたシンチレーション光が、放射線画像の作成に用いられる。

[0035] 本実施形態において、シンチレータ 6 は、シンチレーション光に対して不透明なシンチレータである。シンチレータ 6 は、たとえば、支持体上に蛍光物質が蒸着または、塗布、沈着、結晶成長されたシンチレータ、もしくはプラスチック容器に蛍光物質が内包されたシンチレータである。また、シンチレータ 6 は、例えば、粒状シンチレータや柱状シンチレータ等である。

[0036] シンチレータ 6 の厚みは、数 μm ～数 cm の範囲において、適切な値に設定されている。特に本実施形態では、シンチレータ 6 の厚みは、放射線源 2 の管電圧に基づいて、適切な値に設定されている。シンチレータ 6 の厚みは、検出される放射線のエネルギー帯に基づいて、適切な値に設定されてもよ

い。シンチレータ 6 の厚みは、対象物 A の組成若しくは厚みに基づいて、適切な値に設定されてもよい。

[0037] より具体的には、シンチレータ 6 の厚みは、 $10\ \mu\text{m}$ ～ $50000\ \mu\text{m}$ の範囲内である。放射線源 2 の管電圧が $10\ \text{kV}$ ～ $300\ \text{kV}$ の範囲内に設定される場合、シンチレータ 6 の厚みは、 $10\ \mu\text{m}$ ～ $1000\ \mu\text{m}$ の範囲内の値とされる。放射線源 2 の管電圧が $150\ \text{kV}$ ～ $1000\ \text{kV}$ の範囲内に設定される場合、シンチレータ 6 の厚みは、 $100\ \mu\text{m}$ ～ $50000\ \mu\text{m}$ の範囲内の値とされる。

[0038] シンチレータ 6 の不透明性についてより詳しく説明する。シンチレーション光に対して不透明なシンチレータとは、シンチレーション光がシンチレータ内部で散乱もしくは吸収されることにより、シンチレーション光の波長におけるシンチレータの光透過率が 80% 以下となるシンチレータである。このようなシンチレータでは、シンチレータ 6 の入力面 6 a にシンチレーション光と同じ波長の光を入力すると、シンチレータ 6 の裏面 6 b から出力される光の光量が入力光量の 80% 以下となる。シンチレータ 6 の光透過率は、たとえば厚み $1000\ \mu\text{m}$ (1 mm) において、0%～60% の範囲内であってもよい (シンチレーション光の波長: $550\ \text{nm}$)。放射線画像取得システム 1 では、不透明なシンチレータ 6 を用いることにより、放射線透過率が同程度の物質で構成された対象物 A に対して (特には、軽元素からなる対象物 A に対して)、おもて面観察の有用性が発揮される。

[0039] シンチレータ保持部 8 は、シンチレータ 6 が少なくとも放射線束 12 内に位置する状態で、シンチレータ 6 を保持する。シンチレータ保持部 8 は、シンチレータ 6 の裏面側を保持し、シンチレータ 6 の入力面 6 a を露出させる。これにより、入力面 6 a は、放射線源 2 に対面すると共に、カメラ 3 に対面する。シンチレータ保持部 8 の位置から見て、放射線源 2 とカメラ 3 とは重なっておらず、異なる方向に配置されている。シンチレータ保持部 8 は、使用される放射線源 2 の管電圧に合わせて、厚みや種類が異なるシンチレータ 6 を選択できるよう、保持されるシンチレータ 6 を交換可能に構成されて

いる。すなわち、シンチレータ保持部 8 は、シンチレータ 6 が取り付けられる部分の大きさ（長さ、幅、高さ）および形状を変更可能になっている。シンチレータ保持部 8 は遮光性を有していてもよい。また、シンチレータ保持部 8 は反射防止策を施されているのが好適であるが、反射を生じててもよい。

[0040] カメラ 3 は、シンチレータ 6 に投影された対象物 A の投影像（すなわち放射線透過像）をシンチレータ 6 の入力面 6 a 側から撮像する間接変換方式の撮像手段である。すなわち、カメラ 3 は、入力面 6 a 側の撮像手段である。カメラ 3 は、シンチレータ 6 の入力面 6 a から出力されるシンチレーション光を結像するレンズ（レンズ部） 3 a と、レンズ 3 a により結像されたシンチレーション光を撮像するイメージセンサ（撮像部） 3 b と、を有する。カメラ 3 は、レンズカップリング型の光検出器であってもよい。

[0041] カメラ 3 は、シンチレータ保持部 8 を基準として、入力面 6 a が面する側に配置されている。例えば、カメラ 3 は、シンチレータ 6 の入力面 6 a と対向するように配置されてもよい。この場合、少なくともレンズ 3 a は、入力面 6 a と対向するように配置され、レンズ 3 a により、入力面 6 a とイメージセンサ 3 b は、光学的に結合される。また、カメラ 3 は、シンチレータ 6 の入力面 6 a から出射されるシンチレーション光を反射するミラー（不図示）を介してシンチレーション光を撮像できるように配置されてもよい。この場合、ミラー及びレンズ 3 a により、入力面 6 a とイメージセンサ 3 b は、光学的に結合されている。

[0042] レンズ 3 a は、視野 1 3 のシンチレーション光を集光する。レンズ 3 a は、シンチレータ 6 の入力面 6 a に焦点が合わせられるように配置されている。そのため、シンチレータ 6 の比較的入力面 6 a 側で変換されたシンチレーション光を集光することができる。また、レンズ 3 a は、入力面 6 a から出力されるシンチレーション光を集光し、シンチレーション光をイメージセンサ 3 b の受光面 3 c に結像する。イメージセンサ 3 b は、レンズ 3 a により結像されたシンチレーション光を受光し、光電変換を行う。イメージセンサ 3 b は、コンピュータ 1 0 と電氣的に接続されている。カメラ 3 は、撮像に

より得られた放射線画像データをコンピュータ 10 の画像処理プロセッサ 10 a に出力する。イメージセンサ 3 b としては、例えば CCD エリアイメージセンサや CMOS エリアイメージセンサ等のエリアイメージセンサが用いられる。

[0043] カメラ 3 の配置の一例についてより詳しく説明する。カメラ 3 は、レンズ 3 a の光軸 L が入力面 6 a に対して直交するように配置されている。すなわち、カメラ 3 のレンズ 3 a は、入力面 6 a に対峙すると共に、入力面 6 a の法線上に配置されている。カメラ 3 は、放射線源 2 の光軸上から外して配置されている。すなわち、カメラ 3 は、放射線源 2 からの放射線の出射領域（放射線束 1 2 が存在する領域）から離れるように配置されている。これにより、放射線源 2 からの放射線によるカメラ 3 の被曝が防止され、カメラ 3 の内部で放射線の直接変換信号が生じてノイズが発生することが防止されている。カメラ 3 のレンズ 3 a は、レンズ 3 a の中心からシンチレータ 6 の入力面 6 a に降ろした垂線が入力面 6 a の範囲内であるように配置され、かつ、シンチレータ 6 の入力面 6 a の上方に配置されている。これにより、比較的多くのシンチレーション光を検出可能となる。

[0044] なお、シンチレータ 6 に対向する位置にミラー等を設け、シンチレーション光の光路を適宜変更することもできる。その場合、カメラ 3 は、シンチレータ 6 の入力面 6 a に対向するように配置されなくてもよい。カメラ 3 は、シンチレータ保持部 8 を基準として、入力面 6 a とは反対側すなわち放射線源 2 とは反対側に配置されてもよい。シンチレーション光を適宜の光路に導くための光学素子として、一または複数のミラーが設けられてもよい。

[0045] なお、放射線源 2 およびカメラ 3 の配置は上記した態様に限定されない。放射線源 2 およびカメラ 3 は、対象物保持部 7（対象物 A）およびシンチレータ保持部 8（シンチレータ 6）との関係において、互いに干渉しない位置（または干渉の少ない位置）に設けられればよい。放射線源 2 およびカメラ 3 は、シンチレータ 6 の入力面 6 a の法線を含む平面上に配置されてもよいが、入力面 6 a の法線周りにおいて適宜 3 次元的に配置されてもよい。

[0046] コンピュータ 10 は、CPU (Central Processing Unit)、ROM (Read Only Memory)、RAM (Random Access Memory)、および入出力インターフェイス等を有するコンピュータから構成される。コンピュータ 10 は、カメラ 3 から出力された放射線画像データに基づいて、対象物 A の放射線画像を作成する画像処理プロセッサ (画像作成部) 10a と、放射線源 2 およびカメラ 3 を制御する制御プロセッサ (制御部) 10b と、を有する。画像処理プロセッサ 10a は、放射線画像データを入力し、入力した放射線画像データに対して画像処理等の所定の処理を実行する。画像処理プロセッサ 10a は、作成した放射線画像を表示装置 16 に出力する。制御プロセッサ 10b は、ユーザの入力等により記憶された放射線源 2 の管電圧や管電流の値に基づいて、放射線源 2 を制御する。制御プロセッサ 10b は、ユーザの入力等により記憶されたカメラ 3 の露光時間等に基づいて、カメラ 3 を制御する。画像処理プロセッサ 10a と制御プロセッサ 10b とは、別々のプロセッサでもよいし、同じプロセッサでもよい。また、コンピュータ 10 は、画像処理プロセッサ 10a の機能と制御プロセッサの機能を実行できるようにプログラムされていてもよい。

[0047] 表示装置 16 は、放射線画像を表示するディスプレイである。表示装置 16 としては、公知のディスプレイが用いられ得る。表示装置 16 は、画像処理プロセッサ 10a から出力された放射線画像を表示する。入力装置 17 は、たとえばキーボードやマウス等である。ユーザは、入力装置 17 を用いて、放射線源 2 の管電圧や管電流の値、或いはカメラ 3 の露光時間等といった各種パラメータを入力可能である。入力装置 17 によって入力された各種パラメータは、コンピュータ 10 に記憶される。

[0048] 次に、放射線画像取得システム 1 の動作すなわち放射線画像の取得方法について説明する。まず、対象物 A を用意し、対象物 A を対象物保持部 7 に保持させる。対象物 A のおもて面観察を行うにあたり、予め、放射線源 2 の管電圧や管電流の値、および、カメラ 3 の露光時間などのパラメータを、入力装置 17 を用いて入力しておく (パラメータ入力工程)。また、シンチレー

タ 6 を選定する。この際、シンチレータ 6 の厚みや種類などを決定し、そのシンチレータ 6 をシンチレータ保持部 8 に保持させる。決定したシンチレータ 6 の厚みや種類は、入力装置 17 を用いて入力される（シンチレータ選定工程）。シンチレータ保持部 8 に対して、シンチレータ 6 および放射線源 2、さらにはカメラ 3 の位置を調整し、これらを位置決めされている。カメラ 3 のレンズ 3 a の光軸 L が入力面 6 a に交差するように、カメラ 3 が設けられる。カメラ 3 のレンズ 3 a の焦点位置は、入力面 6 a に合わされる。

[0049] シンチレータ 6 の厚みは、 $10\ \mu\text{m} \sim 1000\ \mu\text{m}$ の範囲内であってもよい。この場合、放射線源 2 の管電圧を $10\ \text{kV} \sim 300\ \text{kV}$ の範囲内としてもよい。また、シンチレータ 6 の厚みは、 $100\ \mu\text{m} \sim 50000\ \mu\text{m}$ の範囲内であってもよい。この場合、放射線源 2 の管電圧を $150\ \text{kV} \sim 1000\ \text{kV}$ の範囲内としてもよい。このようにシンチレータ 6 に合わせて、放射線源 2 の管電圧などのラメータを設定してもよい。

[0050] 続いて、放射線源 2 の照射およびカメラ 3 による入力面 6 a（おもて面）の観察に移る。以下の動作および処理は、コンピュータ 10 の制御プロセッサ 10 b によって制御される。対象物 A に向けて、放射線源 2 から白色 X 線等の放射線を出力する（照射する）（放射線出力工程）。このとき、対象物 A に照射される放射線は、 $20\ \text{keV}$ 以下の特性 X 線を含む放射線であることが好ましい。この場合、対象物 A を透過し、シンチレータ 6 に到達する放射線は、 $20\ \text{keV}$ 以下の特性 X 線を含むことができる。対象物 A を透過した放射線は入力面 6 a に入力され、シンチレータ 6 によって放射線からシンチレーション光への変換が行われる（変換工程）。入力面 6 a から出力されるシンチレーション光は、カメラ 3 のレンズ 3 a によって、イメージセンサ 3 b に結像される（結像工程）。イメージセンサ 3 b は、レンズ 3 a により結像されたシンチレーション光（シンチレーション像）を撮像する。カメラ 3 は、撮像により得られた放射線画像データをコンピュータ 10 の画像処理プロセッサ 10 a に出力する（撮像工程）。

[0051] コンピュータ 10 の画像処理プロセッサ 10 a は、放射線画像データを入

力し、入力した放射線画像データに対して画像処理等の所定の処理を実行し、放射線画像を作成する（画像作成工程）。詳細に説明すると、画像処理プロセッサ10aは、入力されたパラメータ（放射線源2の管電圧や管電流の値、カメラ3の露光時間、シンチレータ6の厚みや種類）に対応した、コントラスト変換のためのLUT（ルックアップテーブル）を決定し、入力された放射線画像データに基づいて放射線画像を作成する。コンピュータ10は、複数のパラメータに対応した複数のLUTsを保存し、その中から入力されたパラメータに対応するLUTを選択してもよいし、入力されたパラメータに基づいてコンピュータ10がLUTを作成してもよい。また、ユーザがパラメータに対応したLUTを入力してもよい。発明者らは、シンチレータの厚みによって、おもて面撮像により得られる放射線画像のコントラストが変化することを確認している。従って、画像処理プロセッサ10aは、少なくともシンチレータの厚みに対応したコントラスト変換のためのLUTに基づいて、対象物の放射線画像を作成すれば、適切なコントラストを有する放射線画像を取得することができる。画像処理プロセッサ10aは、作成した放射線画像を表示装置16に出力する。表示装置16は、画像処理プロセッサ10aから出力された放射線画像を表示する。

[0052] 以上の工程を経て、対象物Aのおもて面観察による放射線画像が得られる。放射線画像取得システム1によって取得される放射線画像は、たとえば文字や模様が印刷されたプラスチックやプレス処理されたプラスチック等のように、放射線透過率が同程度の物質で構成された対象物Aに対しても、対象物Aの形状（外形等）や印刷された模様をはっきりと識別可能である。特に、たとえばプラスチック等の、軽元素からなる対象物Aに対しても、対象物Aの形状（外形等）をはっきりと識別可能である。また、たとえば、同じ材料のわずかな厚みの違いでも放射線画像に反映され、対象物Aにおける細かい凹凸加工や、対象物A上に印刷された文字若しくは模様等を識別可能である。

[0053] 放射線画像取得システム1および放射線画像取得方法によれば、放射線が

らシンチレーション光への変換には、不透明なシンチレータ 6 が用いられている。しかも、シンチレータ 6 の入力面 6 a から出力されるシンチレーション光が撮像されている。これらの特徴を備えることにより、放射線透過率が同程度の物質で構成された対象物 A に対しても、コントラストがある放射線画像を得ることができる。特に、軽元素からなる対象物の形状等をはっきりと識別可能な放射線画像を取得することができる。これによって、対象物 A の外形や、細かい凹凸、その上に印刷された文字若しくは模様等を画像から識別することができる。

[0054] シンチレータを用いた間接変換方式の放射線画像は、これまで、シンチレータ 6 の裏面から出力されたシンチレーション光の撮像によって得られることが前提とされている。本発明者らは、このような前提に立った従来の観察方式では、放射線透過率が同程度の物質で構成された対象物 A の鮮明な画像を得ることができないことを見出し、鋭意検討を行った。その結果、不透明なシンチレータ 6 を用い、入力面 6 a の観察を行うことで、この課題が解決されることを発見した。実施例および比較例については後述する。

[0055] 放射線画像取得システム 1 では、レンズ 3 a は、入力面 6 a と対向するように配置されている。したがって、簡易な構成で、入力面 6 a から出力されるシンチレーション光を撮像することができる。

[0056] 画像処理プロセッサ 10 a は、少なくともシンチレータ 6 の厚みに対応したコントラスト変換のための LUT に基づいて対象物 A の放射線画像を作成する。したがって、シンチレータ 6 の厚みに応じて、おもて面の撮像で得られた放射線画像のコントラストが変化しても、適切にコントラスト変換することができる。

[0057] 続いて、図 2 を参照して、第 2 実施形態に係る放射線画像取得システム 1 A について説明する。この放射線画像取得システム 1 A が第 1 実施形態の放射線画像取得システム 1 と違う点は、対象物 A を静止させた状態で保持する対象物保持部 7 に代えて、対象物 A を所定の搬送方向 D に搬送する搬送装置 20 を備えた点と、カメラ 3 に代えて、ラインスキャンカメラであるカメラ

3 Aを備えた点である。図2に示されるように、搬送装置20は、周回軌道を移動するベルトコンベア21を有しており、ベルトコンベア21上に、対象物Aが載置または保持されている。搬送装置20は、ベルトコンベア21を駆動する図示しない駆動源を備えている。搬送装置20のベルトコンベア21は、放射線源2とシンチレータ保持部8（シンチレータ6）との間に配置されている。搬送装置20は、対象物Aを搬送方向Dに一定の速度で搬送するように構成されている。搬送装置20における対象物Aの搬送タイミングや搬送速度は、予め設定されており、コンピュータ10の制御プロセッサ10bによって制御される。

[0058] カメラ3Aは、ラインスキャンカメラであり、対象物Aの移動に合わせて撮像を行う。カメラ3Aは、イメージセンサ3bとして、ラインセンサやTDI（時間遅延積分）駆動が可能なエリアイメージセンサを備える。特に、イメージセンサ3bがTDI駆動可能なエリアイメージセンサである場合、イメージセンサ3bは、制御プロセッサ10bによって、対象物Aの移動に合わせて電荷転送を行うように制御される。すなわち、イメージセンサ3bは、搬送装置20による対象物Aの移動に同期して、受光面3cにおける電荷転送を行う。これにより、S/N比のよい放射線画像を得ることができる。なお、イメージセンサ3bがエリアイメージセンサである場合には、コンピュータ10の制御プロセッサ10bが放射線源2とカメラ3Aを制御して、カメラ3Aの撮像タイミングに合わせて放射線源2を点灯させる構成であってもよい。

[0059] シンチレータ6は、カメラ3Aのレンズ3aの光軸Lに対して、その入力面6aが所定の角度（例えば、 45° ）傾斜するようにして配置されている。また、シンチレータ6の入力面6aは、放射線源2の光軸に対して所定の角度（例えば、 45° ）傾斜するようにして配置されている。これにより、搬送装置20のベルトコンベア21と物理的な干渉を起こさず、カメラ3Aをコンパクトに配置することができる。この場合、レンズ3aにより、入力面6aとイメージセンサ3bは、光学的に結合される。ただし、このような

形態に限らず、カメラ3 Aは、シンチレータ6の入力面6 aから出射されるシンチレーション光を反射するミラー（不図示）を介してシンチレーション光を撮像できるように配置されてもよい。この場合、ミラー及びレンズ3 aにより、入力面6 aとイメージセンサ3 bは、光学的に結合される。

[0060] 放射線画像取得システム1 Aによる放射線画像取得方法は、上記した放射線画像取得システム1による放射線画像取得方法と基本的に同様であるが、放射線出力工程において搬送装置20を用いて対象物Aを搬送する搬送工程を備えた点と、撮像工程において対象物Aの移動に同期して電荷転送（TDI動作）を行う点とにおいて異なっている。

[0061] 放射線画像取得システム1 Aによれば、より高速に放射線画像を取得することができる。また、S/N比のよい放射線画像を取得することができる。

[0062] 以下、図3（a）～図9（b）を参照して、実施例および比較例について説明する。以下の実施例および比較例では、図4に示されるように、軽元素からなる対象物Aの1つのサンプルとして、ポリエチレンで構成される袋（食品包装用の容器）の放射線画像について検討した。この袋は、透明であり、袋の一辺はギザギザな形状（ジグザグな形状）となっている。袋の端部には、文字が印字（印刷）されている。なお、この袋には、たとえば食品等の内容物が内包されている。

[0063] 以下、実施例においては、図3（a）に示されるように、入力面6 aの観察（おもて面撮影）を行った。比較例においては、図3（b）に示されるように、裏面6 bの観察（うら面撮影）を行った。おもて面撮影に用いた装置構成は、第1実施形態の放射線画像取得システム1と同様であり、対象物Aを保持して静止させ、エリアイメージセンサを用いる形態を採用した。第5および第6比較例を除き、シンチレータとしては、いずれも不透明なシンチレータ6を用いた。なお、第5比較例においては、透明なシンチレータを用いつつ、入力面6 aの観察（おもて面撮影）を行った。第6比較例においては、透明なシンチレータを用いつつ、裏面6 bの観察（うら面撮影）を行った。

[0064] 図5 (a) は、第1実施例に係る放射線画像を示す図であり、図5 (b) は、第1比較例に係る放射線画像を示す図である。第1実施例および第1比較例では、撮影面を反対にし、異なる露光時間で撮影を行った。放射線源は、20 keV以下の特性X線を含む放射線を出力できる放射線源を用いた。シンチレータとしては、いずれも、厚みが85 μm の、不透明なGOSシートを用いた。放射線源の管電圧は、いずれも、40 kVとした。放射線源の管電流は、いずれも、200 μA とした。露光時間は、おもて面の撮像において2秒、うら面の撮像において10秒とした。また、放射線源とシンチレータの間には、放射線を低減するフィルタを配置していない。

[0065] 図5 (a) に示されるように、おもて面の方がうら面よりも露光時間が短いにも関わらず、おもて面撮影を行った第1実施例に係る放射線画像では、対象物Aのジグザグ状の外形をはっきりと確認することができた。また、袋に印刷された文字を確認することもできた。このように、ポリエチレンに対するコントラストを得られることがわかった。一方、図5 (b) に示されるように、うら面撮影を行った第1比較例に係る放射線画像では、袋の外形や文字をはっきりと確認することはできなかった。

[0066] 図6 (a) は、第2実施例に係る放射線画像を示す図であり、図6 (b) は、第2比較例に係る放射線画像を示す図である。第2実施例および第2比較例では、撮影面を反対にしている点と、露光時間を変えた以外は、同じ撮影条件で撮影を行った。放射線源は、20 keV以下の特性X線を含む放射線を出力できる放射線源を用いた。シンチレータとしては、いずれも、厚みが85 μm の、不透明なGOSシートを用いた。放射線源の管電圧は、いずれも、100 kVとした。放射線源の管電流は、いずれも、200 μA とした。露光時間は、おもて面の撮像において1秒、うら面の撮像において2秒とした。また、放射線源とシンチレータの間には、放射線を低減するフィルタを配置していない。

[0067] 図6 (a) に示されるように、おもて面の方がうら面よりも露光時間が短いにも関わらず、おもて面撮影を行った第2実施例に係る放射線画像では、

対象物Aのジグザグ状の外形をはっきりと確認することができた。また、袋に印刷された文字を確認することもできた。このように、ポリエチレンに対するコントラストを得られることがわかった。また、図5（a）に示された第1実施例の放射線画像と対比しても、電圧が40kVから100kVに高められた結果、いずれにおいても袋の形状と文字を確認できた。一般的に、管電圧を上げると放射線源2から出力される放射線のエネルギーが高エネルギーにシフトする。管電圧を上げて（高エネルギーとしても）袋の形状と文字が確認できるのは、おもて面観察に特有の現象であると考えられる。一方で、図6（b）に示されるように、うら面撮影を行った第2比較例に係る放射線画像では、2倍以上の露光時間を採用したにも関わらず、袋の外形や文字をはっきりと確認することはできなかった。

[0068] 図7（a）は、第3実施例に係る放射線画像を示す図であり、図7（b）は、第3比較例に係る放射線画像を示す図である。第3実施例および第3比較例では、撮影面を反対にしている以外は、同じ撮影条件で撮影を行った。20keV以下の特性X線を含む放射線を出力できる放射線源を用いた。シンチレータとしては、いずれも、厚みが85 μ mの、不透明なGOSシートを用いた。放射線源の管電圧は、いずれも、40kVとした。放射線源の管電流は、いずれも、200 μ Aとした。露光時間は、おもて面の撮像において2秒、うら面の撮像において10秒とした。また、放射線源とシンチレータの間には、放射線を低減するフィルタを配置していない。

[0069] 図7（a）に示されるように、おもて面撮影を行った第3実施例に係る放射線画像では、おもて面の方がうら面よりも露光時間が短いにも関わらず、対象物Aのジグザグ状の外形をはっきりと確認することができた。また、袋に印刷された文字を確認することもできた。このように、ポリエチレンに対するコントラストを得られることがわかった。一方、図7（b）に示されるように、うら面撮影を行った第3比較例に係る放射線画像では、袋の外形や文字をはっきりと確認することはできなかった。

[0070] 図8（a）は、第4実施例に係る放射線画像を示す図であり、図8（b）

は、第4比較例に係る放射線画像を示す図である。第4実施例および第4比較例では、撮影面を反対にしている以外は、同じ撮影条件で撮影を行った。放射線源は、20 keV以下の特性X線を含む放射線を出力できる放射線源を用いた。シンチレータとしては、いずれも、厚みが85 μm の、不透明なGOSシートを用いた。放射線源の管電圧は、いずれも、130 kVとした。放射線源の管電流は、いずれも、200 μA とした。露光時間は、おもて面の撮像において1秒、うら面の撮像において2秒とした。また、放射線源とシンチレータの間には、放射線を低減するフィルタを配置していない。

[0071] 図8(a)に示されるように、おもて面撮影を行った第4実施例に係る放射線画像では、おもて面の方がうら面よりも露光時間が短いにも関わらず、対象物Aのジグザグ状の外形をはっきりと確認することができた。また、袋に印刷された文字を確認することもできた。このように、ポリエチレンに対するコントラストを得られることがわかった。また、図7(a)に示された第3実施例の放射線画像と対比しても、電圧が40 kVから130 kVに高められた結果、いずれにおいても袋の形状と文字を確認できた。管電圧を上げて（高エネルギーとしても）袋の形状と文字が確認できるのは、おもて面観察に特有の現象であると考えられる。一方で、図8(b)に示されるように、うら面撮影を行った第4比較例に係る放射線画像では、袋の外形や文字をはっきりと確認することはできなかった。

[0072] 図9(a)および図9(b)は、第5および第6比較例に係る放射線画像を示す図である。これらの比較例では、入力面6aの観察（おもて面撮影）を行った。ただし、透明なシンチレータを用いた。放射線源は、20 keV以下の特性X線を含む放射線を出力できる放射線源を用いた。シンチレータとしては、いずれも、厚みが1400 μm （1.4 mm）の、透明なセラミックシンチレータを用いた。より具体的には、透明なGOS:Prシンチレータを用いた（ $\text{Gd}_2\text{O}_3\text{S:Pr}$ 、「酸硫化ガドリニウム（プラセオジム添加）」）。放射線源の管電圧は、いずれも、130 kVとした。放射線源の管電流は、いずれも、200 μA とした。露光時間は、いずれも、0.5秒とした。

また、放射線源とシンチレータの間には、放射線を低減するフィルタを配置していない。

[0073] 図9(a)および図9(b)に示されるように、可視光透過率が高いシンチレータを用いた第5および第6比較例に係る放射線画像では、おもて面撮影、うら面撮影のいずれにおいても、はっきりとした画像は得られなかった。おもて面撮影とうら面撮影において、画像の鮮明度に差は付かなかった。

[0074] 以上より、不透明なシンチレータ6の入力面6aから出力されるシンチレーション光を撮像した放射線画像には、これまでに認識されていなかった特異的な現象が現れることがわかった。また、おもて面観察では、40kV、100kV、および130kVのいずれにおいても、袋の形状や文字を認識できることがわかる。従って、この現象は、管電圧（つまり、放射線のエネルギー）に関係なく、おもて面観察特有の現象であることがわかる。また、透明なシンチレータを用いた場合、おもて面観察をしても、袋の形状も文字も識別することができなかった。従って、この特徴は、不透明なシンチレータを用いた場合に特有のものであることがわかる。

[0075] これまでは、放射線画像により、ポリエチレンなどの軽元素でできた対象物の形状を把握できることは知られていなかった。加えて、対象物に印刷された文字も認識できることは特に知られていない。発明者らの推測によれば、シンチレータ6の入力面6aから出力されるシンチレーション光は、対象物Aのわずかな厚みも反映していることが1つの要因になっていると考えられる。今回確認された特異的な現象は、たとえば、かみこみ検査（内容物が袋の接着部分に挟まっていないかどうかの検査）や、透かし検査、異物検査への応用が可能である。

[0076] さらに、発明者らは、ポリエチレン以外にも、他の材料に対しても上記の現象が現れないか、種々検討を行った。一例として、紙類の透かし部分に対し、不透明シンチレータを用いたおもて面撮影およびうら面撮影を行った。うら面撮影における露光時間は、おもて面撮影における露光時間の2倍とした。その結果、おもて面撮影による放射線画像では、透かし部分を十分に識

別できるコントラストを得ることができた。一方、うら面撮影による放射線画像では、透かし部分のコントラストは劣っていた。おもて面撮影による放射線画像と、うら面撮影による放射線画像とでは、40 kVの管電圧において、約1200のコントラスト差が認められた。これは、コントラストノイズ比(CNR)に換算して1.5程度であった。なお、うら面撮影による放射線画像において、輝度を30回積算した場合でも、おもて面撮影による放射線画像のコントラストには及ばなかった。このことから、露光時間を考慮すると、おもて面撮影は、うら面撮影の20～60倍以上の感度を有することが確認された。

[0077] 紙類を対象物とした実験においても、管電圧を高くしても透かし像のコントラストは変わらず、ポリエチレンを対象物とした上記実施例と同様、おもて面観察の特異的な現象が現れた。従来の手法では、紙類の透かし像を認識するといったことは放射線画像の分野では着想さえされなかった。しかし、上記に開示した特徴を備えた放射線画像取得システムおよび放射線画像取得方法によれば、同じ材料におけるわずかな厚みの違いを反映できることがわかった。

[0078] また、上記実施形態によれば、放射線透過率が同程度の物質で構成された対象物に対しても、対象物の形状や模様等をはっきりと識別可能である。例えば、魚などの生鮮食品に存在する寄生虫や加工食品に存在する髪の毛を判別可能である。これまで、食品の放射線透過率と寄生虫や髪の毛などの異物の放射線透過率が同程度であるため、放射線画像による識別は難しいとされていた。しかし、不透明シンチレータのおもて面撮影では、放射線透過率が同程度でも厚みの違いを反映した放射線画像を取得できるため、食品と異物とを判別できる。

[0079] 本開示の放射線画像取得システムおよび放射線画像取得方法において、20 keV以下の特性X線を含む放射線をシンチレータ6の入力面6a（おもて面）でシンチレーション光に変換することが重要である。以下、シミュレーションによって明らかになった点を説明する。図10(a)は、シミュレ

ーションに用いられたX線エネルギースペクトルを示す図である。図10(b)は、補正前のX線エネルギースペクトルで行ったシミュレーション結果を示す図である。図10(c)は、補正後のX線エネルギースペクトルで行ったシミュレーション結果を示す図である。

[0080] 図10(a)に示されるように、一般的に、X線エネルギースペクトルは、T u c k e rの式(T u c k e r法)などを用いて表され得る。図10(a)に示されるように、T u c k e rの式を用いて得られた放射線のエネルギースペクトル(実線で示される)を用いてシミュレーションを行った。図10(b)に示されるように、アルミニウムの透過率のシミュレーション結果(破線で示される)は、おもて面観察によって得られたX線画像に基づいて計算された、アルミニウムの透過率の実測値(実線で示される)に一致しなかった。

[0081] そこで、図10(a)に示されるように、本発明者らは、エネルギースペクトルを補正し、20keV以下の領域において特性X線を相対的に高くした(すなわち特性X線が支配的である)エネルギースペクトル(破線で示される)を得た。この補正後のエネルギースペクトルを用いてシミュレーションを行った。図10(c)に示されるように、アルミニウムの透過率のシミュレーション結果(破線で示される)は、おもて面観察によって得られたX線画像に基づいて計算された、アルミニウムの透過率の実測値(実線で示される)とよく一致した。

[0082] 以上より、シンチレータ6の入力面6a(おもて面)では、20keV以下の特性X線が、効率よくシンチレーション光に変換されていることがわかった。

[0083] 本発明は、上記実施形態に限定されない。たとえば、レンズ部は、入力面と対向するように配置されなくてもよい。

産業上の利用可能性

[0084] 本開示のいくつかの態様によれば、鮮明な放射線画像を取得することができる。

符号の説明

[0085] 1、1 A…放射線画像取得システム、2…放射線源、3…カメラ（撮像手段）、3 a…レンズ（レンズ部）、3 b…イメージセンサ（撮像部）、3 c…受光面、6…シンチレータ、6 a…入力面、10…コンピュータ、10 a…画像処理プロセッサ（画像作成部）、10 b…制御プロセッサ（制御部）、20…搬送装置、A…対象物、D…搬送方向、L…光軸。

請求の範囲

- [請求項1] 対象物の放射線画像を取得する放射線画像取得システムにおいて、
前記対象物に向けて放射線を出力する放射線源と、
前記対象物を透過した前記放射線が入力される入力面を有し、前記入力された放射線をシンチレーション光に変換する、前記シンチレーション光に対して不透明なシンチレータと、
前記入力面に焦点が合い、前記入力面から出力される前記シンチレーション光を結像するレンズ部と、前記レンズ部により結像された前記シンチレーション光を撮像する撮像部とを有し、前記対象物の放射線画像データを出力する撮像手段と、
前記放射線画像データに基づいて、前記対象物の放射線画像を作成する画像作成部と、
を備える、放射線画像取得システム。
- [請求項2] 前記レンズ部は、前記入力面と対向するように配置される、請求項1に記載の放射線画像取得システム。
- [請求項3] 前記放射線源と前記シンチレータとの間に配置されて、前記対象物を搬送方向に搬送する搬送装置を更に備える、請求項1または2に記載の放射線画像取得システム。
- [請求項4] 前記撮像部は、時間遅延積分駆動が可能なエリアイメージセンサであり、前記搬送装置による前記対象物の移動に同期して、受光面における電荷転送を行い、前記レンズ部により結像された前記シンチレーション光を撮像する、請求項3に記載の放射線画像取得システム。
- [請求項5] 前記放射線源の管電圧は10kV～300kVの範囲内で調整可能であり、前記シンチレータの厚みは10 μ m～1000 μ mの範囲内である、請求項1～4のいずれか一項に記載の放射線画像取得システム。
- [請求項6] 前記放射線源の管電圧は150kV～1000kVの範囲内で調整可能であり、前記シンチレータの厚みは100 μ m～50000 μ m

の範囲内である、請求項 1 ～ 4 のいずれか一項に記載の放射線画像取得システム。

[請求項7] 前記画像作成部は、少なくとも前記シンチレータの厚みに対応したコントラスト変換のためのルックアップテーブルに基づいて、前記対象物の前記放射線画像を作成する、請求項 1 ～ 6 のいずれか一項に記載の放射線画像取得システム。

[請求項8] 前記放射線源は、20 keV 以下の特性 X 線を含む放射線を出力し、前記対象物を透過し、前記シンチレータによって変換される放射線は、20 keV 以下の特性 X 線を含む、請求項 1 ～ 7 のいずれか一項に記載の放射線画像取得システム。

[請求項9] 対象物の放射線画像を取得する放射線画像取得方法において、
前記対象物に向けて放射線源から放射線を出力する放射線出力工程と、
前記対象物を透過した前記放射線が入力される入力面を有する、シンチレーション光に対して不透明なシンチレータを用い、前記入力された放射線を前記シンチレーション光に変換する変換工程と、
前記入力面に焦点が合うレンズ部を用い、前記入力面から出力される前記シンチレーション光を撮像部に結像する結像工程と、
前記撮像部を用いて、前記結像されたシンチレーション光を撮像し、前記対象物の放射線画像データを出力する撮像工程と、
前記放射線画像データに基づいて、前記対象物の放射線画像を作成する画像作成工程と、
を含む、放射線画像取得方法。

[請求項10] 前記放射線源と前記シンチレータとの間に配置された搬送装置を用い、前記対象物を搬送方向に搬送する搬送工程を更に備える、請求項 9 に記載の放射線画像取得方法。

[請求項11] 前記撮像部は、時間遅延積分駆動が可能なエリアイメージセンサであり、

前記撮像工程では、前記搬送装置による前記対象物の移動に同期して、前記エリアイメージセンサの受光面における電荷転送を行う、請求項 10 に記載の放射線画像取得方法。

[請求項12] 前記シンチレータの厚みは $10\ \mu\text{m} \sim 1000\ \mu\text{m}$ の範囲内であり、

前記放射線出力工程では、前記放射線源の管電圧を $10\ \text{kV} \sim 300\ \text{kV}$ の範囲内とする、請求項 9 ～ 11 のいずれか一項に記載の放射線画像取得方法。

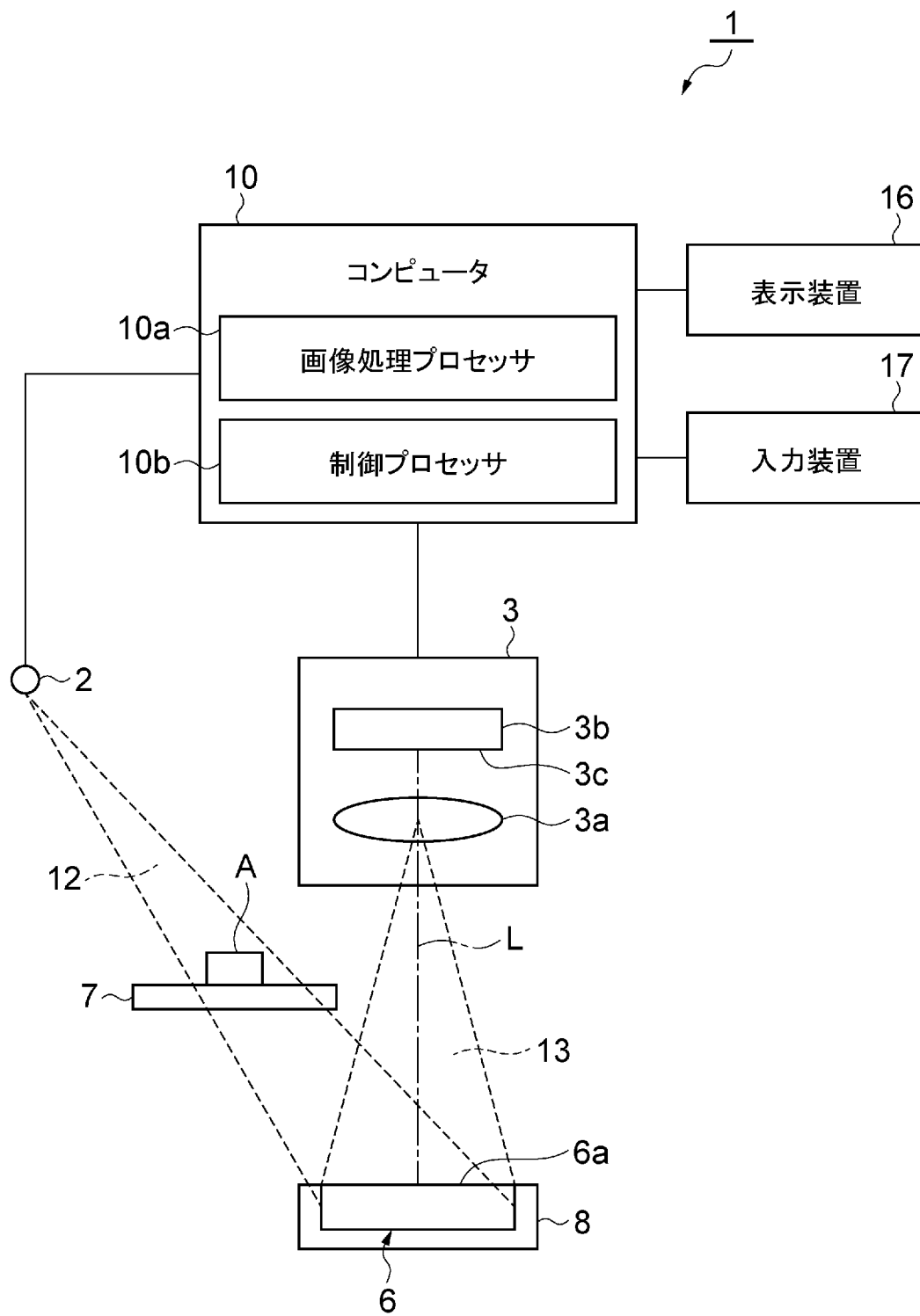
[請求項13] 前記シンチレータの厚みは $100\ \mu\text{m} \sim 50000\ \mu\text{m}$ の範囲内であり、

前記放射線出力工程では、前記放射線源の管電圧を $150\ \text{kV} \sim 1000\ \text{kV}$ の範囲内とする、請求項 9 ～ 11 のいずれか一項に記載の放射線画像取得方法。

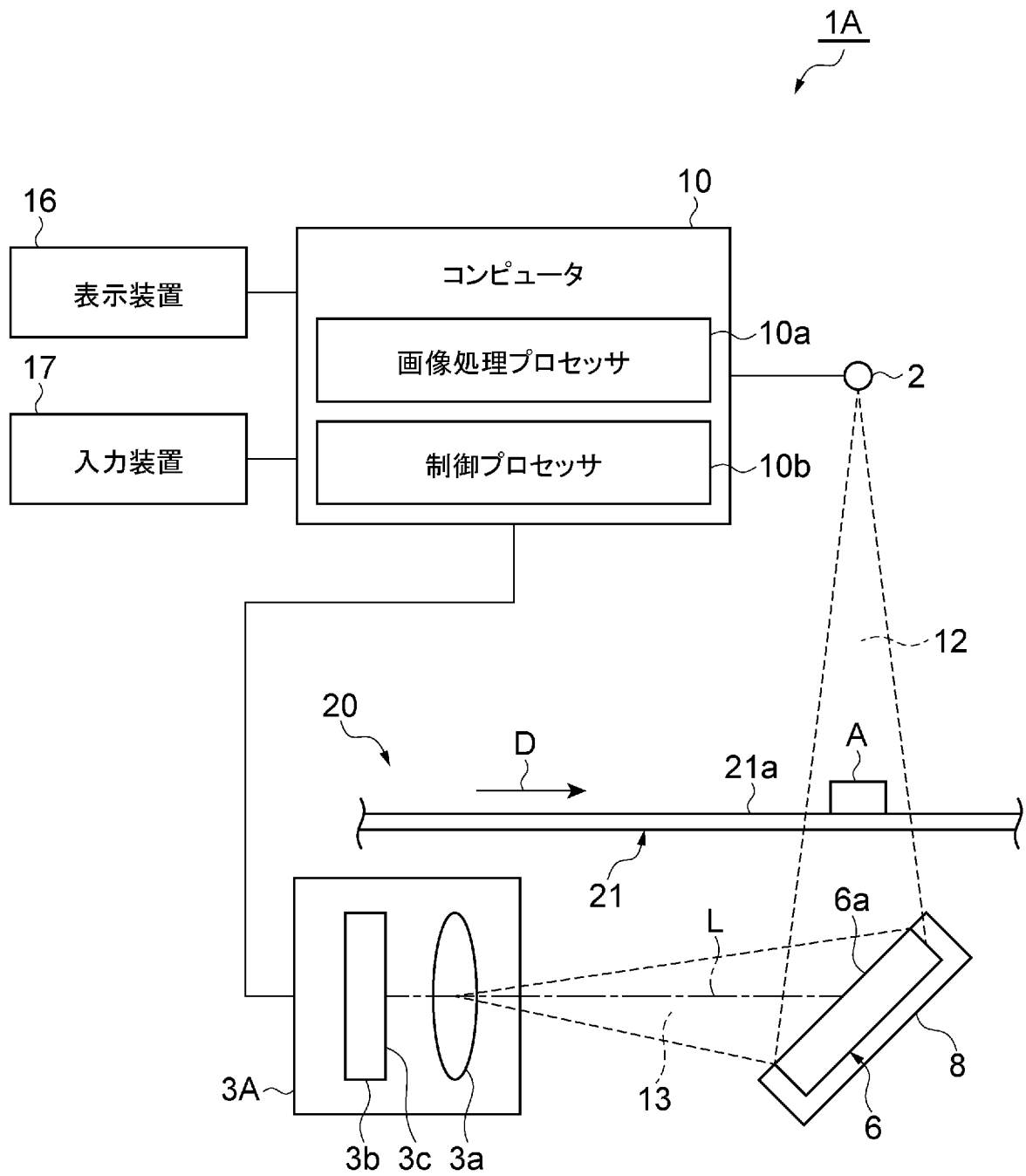
[請求項14] 前記画像作成工程では、少なくとも前記シンチレータの厚みに対応したコントラスト変換のためのルックアップテーブルに基づいて、前記対象物の前記放射線画像を作成する、請求項 9 ～ 13 のいずれか一項に記載の放射線画像取得方法。

[請求項15] 前記放射線出力工程では、 $20\ \text{keV}$ 以下の特性 X 線を含む放射線を出力し、前記変換工程では、前記対象物を透過し、 $20\ \text{keV}$ 以下の特性 X 線を含む放射線を前記シンチレーション光に変換する、請求項 9 ～ 14 のいずれか一項に記載の放射線画像取得方法。

[図1]

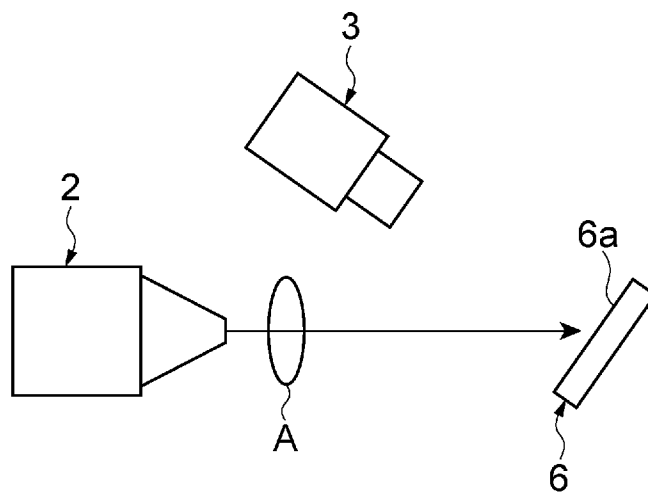


[図2]

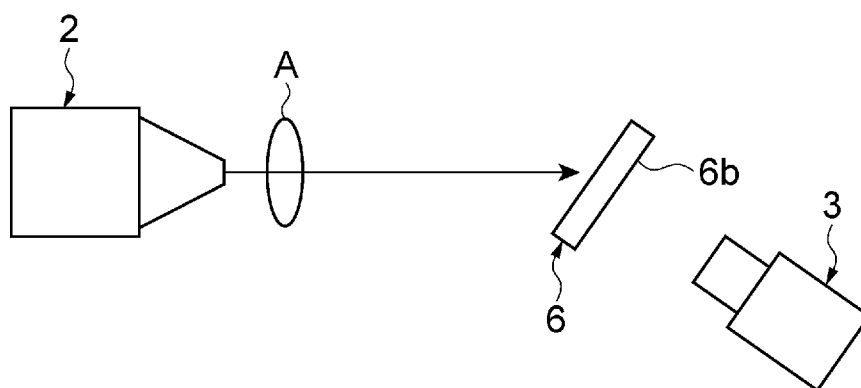


[図3]

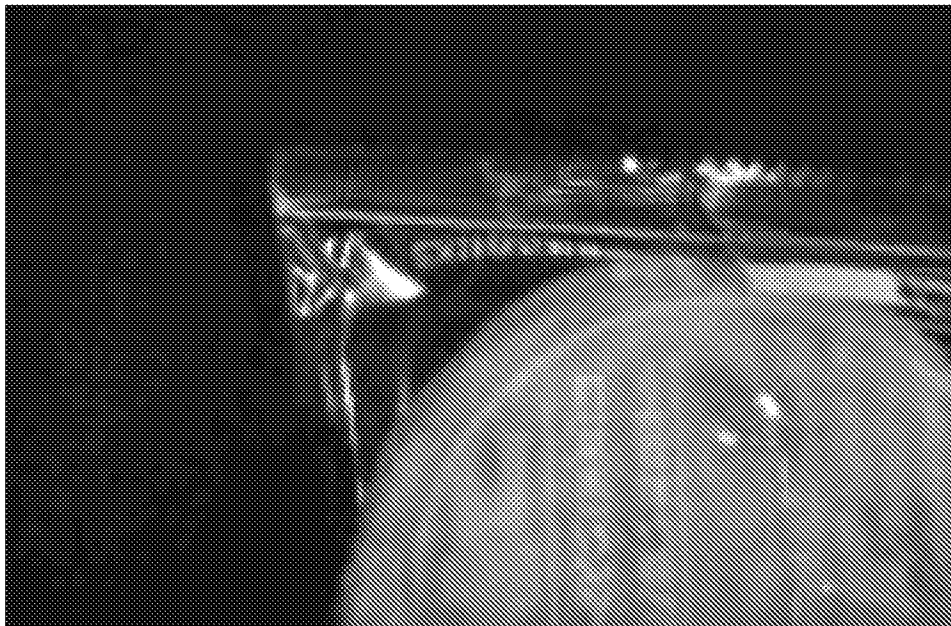
(a)



(b)



[図4]

A


[図5]

(a)

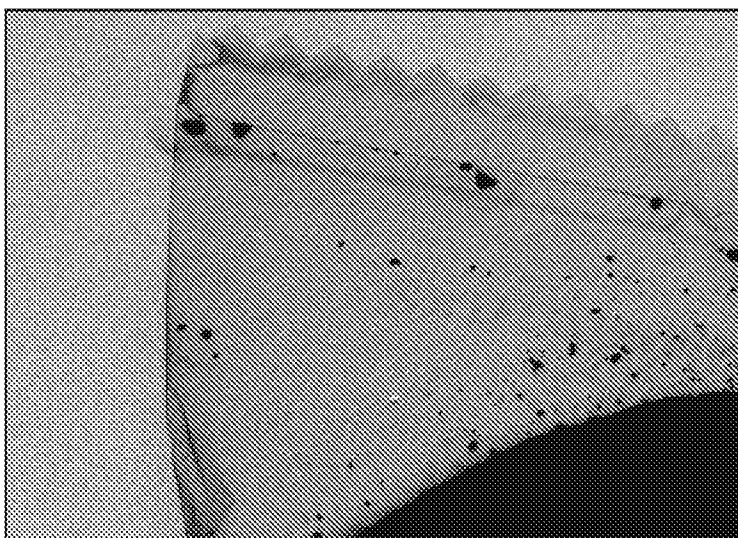


(b)

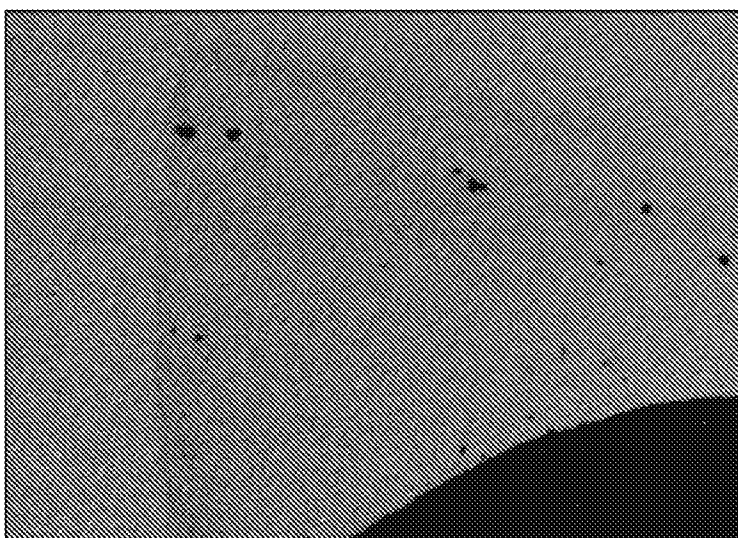


[図6]

(a)

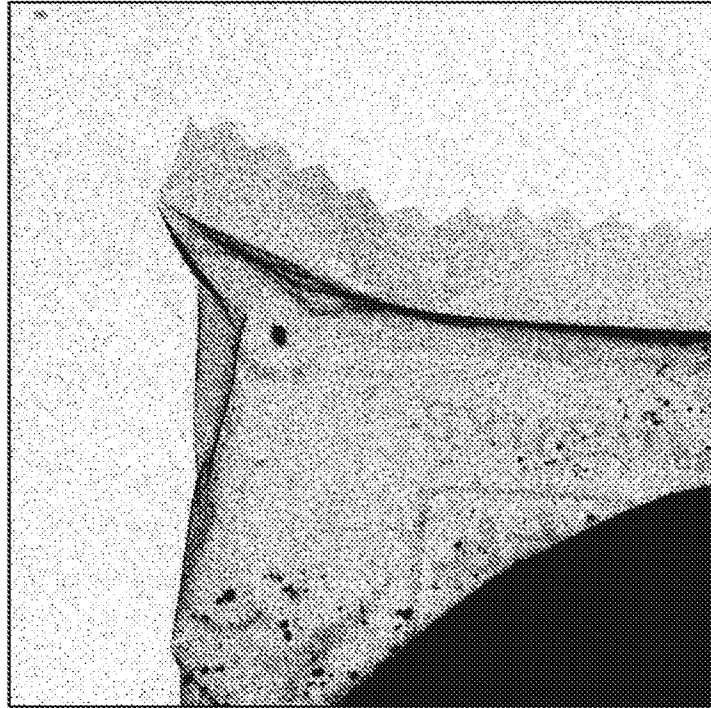


(b)

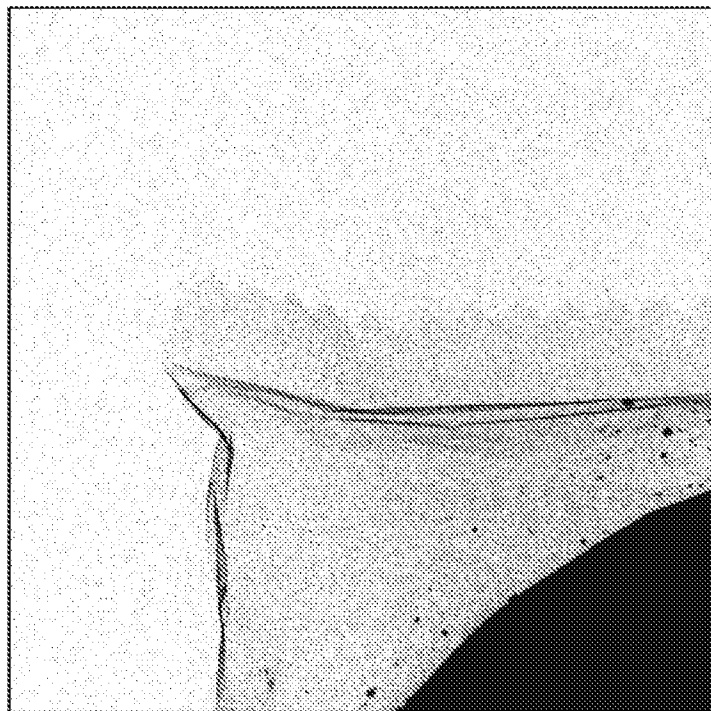


[図7]

(a)

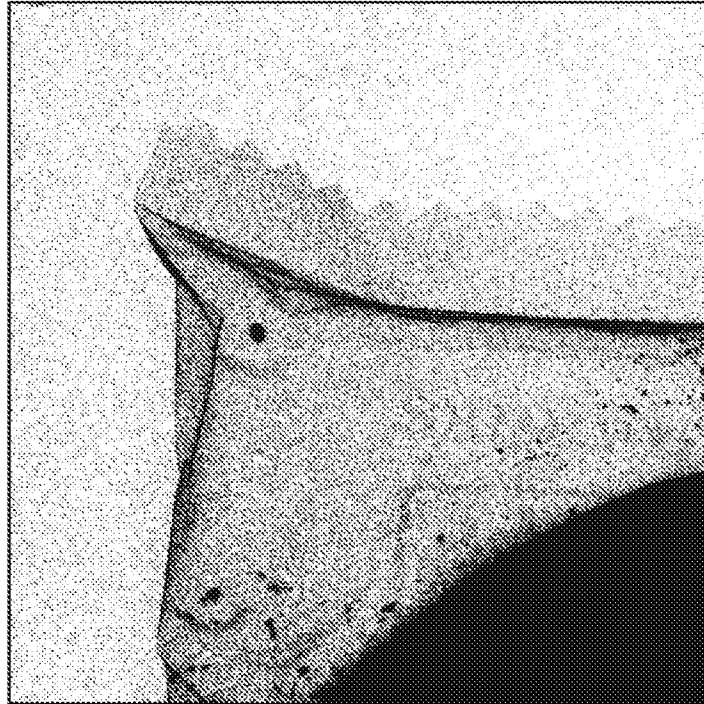


(b)

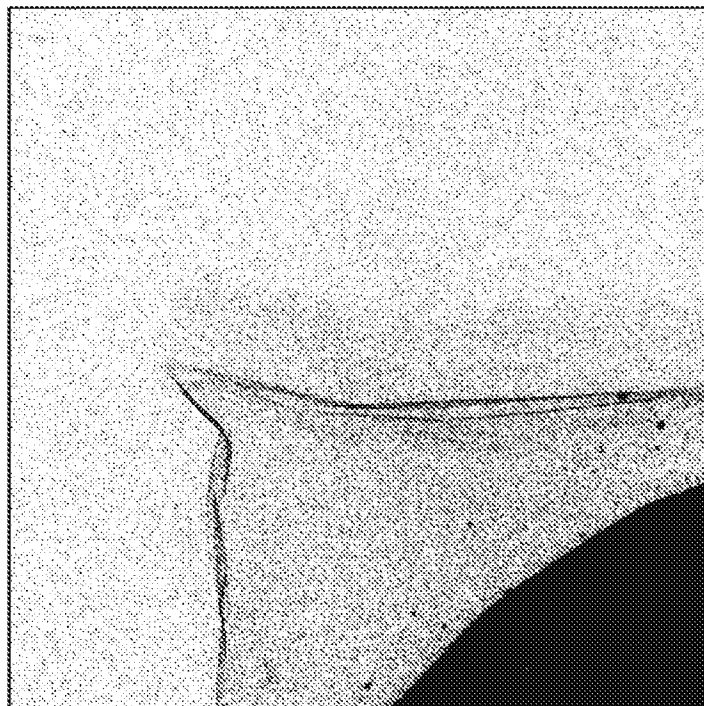


[図8]

(a)

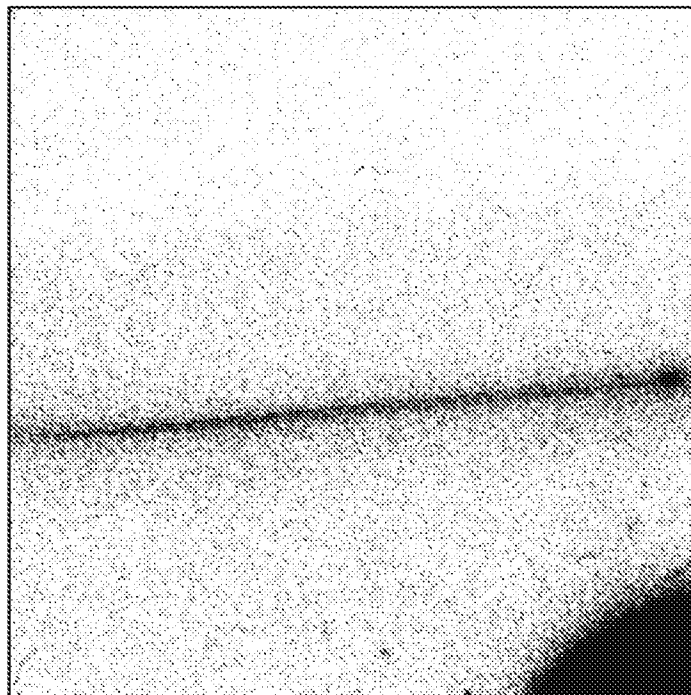


(b)

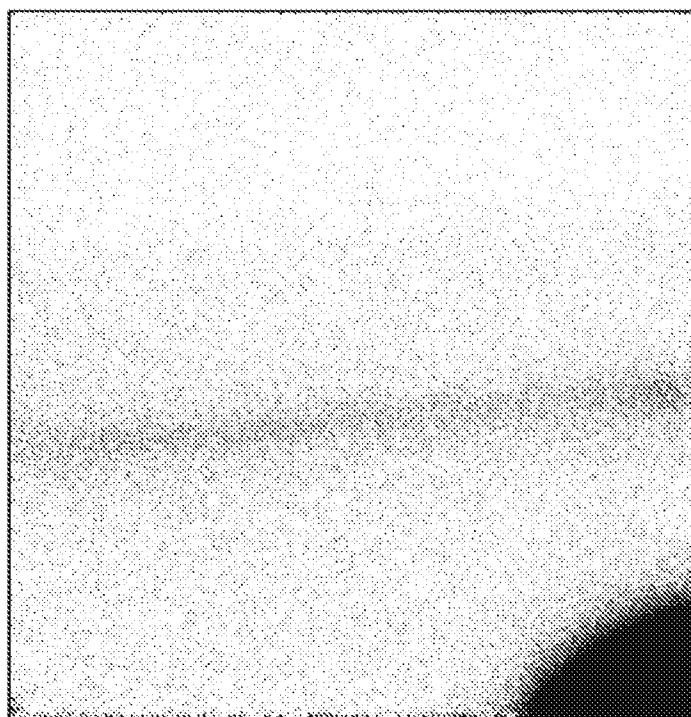


[図9]

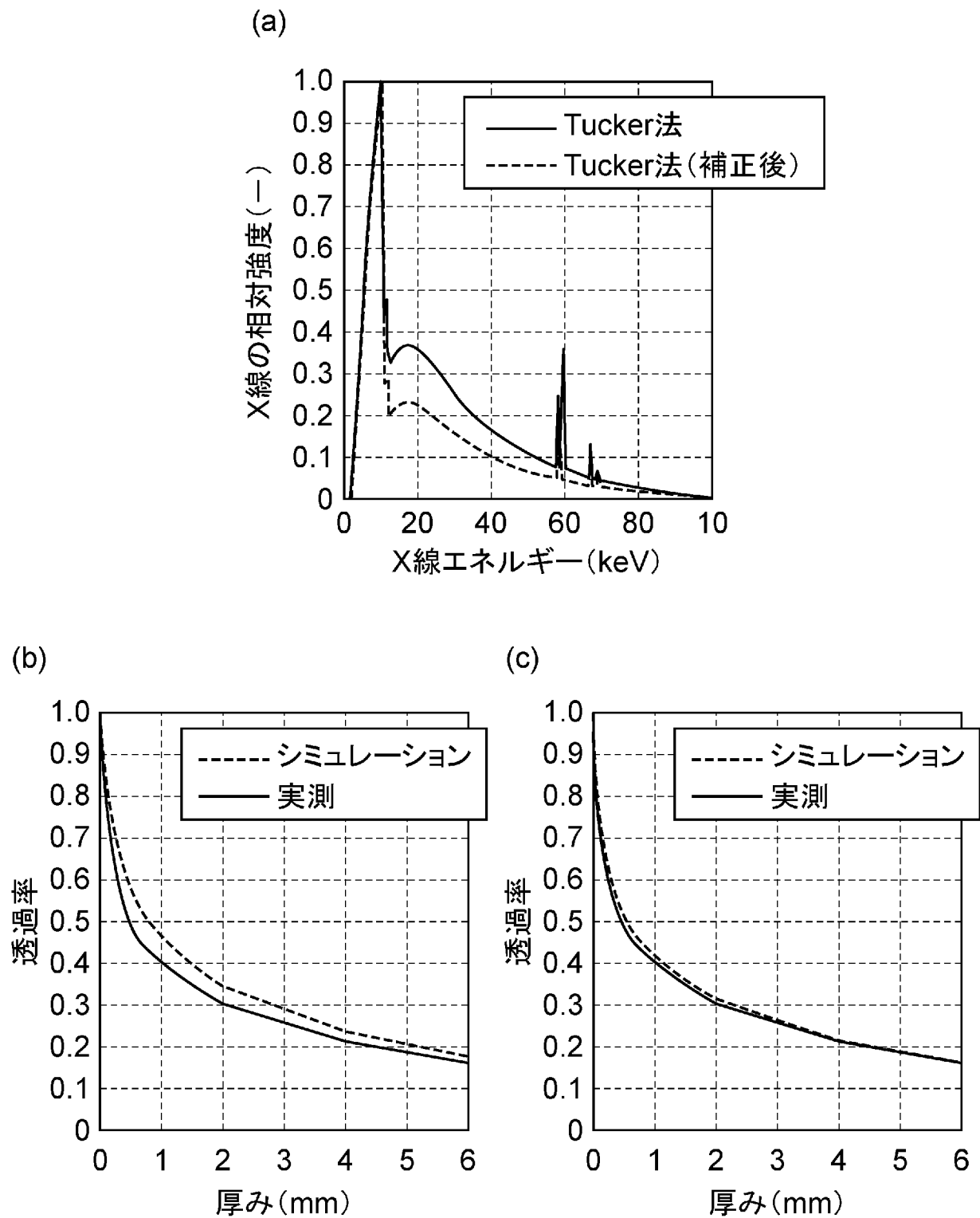
(a)



(b)



[図10]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2016/072441

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

G01T1/20(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)

G01T1/00-1/16, G01T1/167-7/12, G01N23/00-23/227, G03B42/00-42/08, H04N5/222-5/257

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	1996-2016
Kokai Jitsuyo Shinan Koho	1971-2016	Toroku Jitsuyo Shinan Koho	1994-2016

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.
Y	JP 2014-198831 A (Toyo University), 23 October 2014 (23.10.2014), paragraph [0021]; fig. 8 (Family: none)	1-15
Y	JP 2007-155653 A (Olympus Corp.), 21 June 2007 (21.06.2007), paragraphs [0013] to [0020]; fig. 1 to 2 (Family: none)	1-15

☒ Further documents are listed in the continuation of Box C.

☐ See patent family annex.

* Special categories of cited documents:

"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date

"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)

"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

"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

"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

"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

"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search
03 October 2016 (03.10.16)

Date of mailing of the international search report
18 October 2016 (18.10.16)

Name and mailing address of the ISA/
Japan Patent Office
3-4-3, Kasumigaseki, Chiyoda-ku,
Tokyo 100-8915, Japan

Authorized officer

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2016/072441

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	JP 2011-64640 A (Hamamatsu Photonics Kabushiki Kaisha), 31 March 2011 (31.03.2011), paragraphs [0020] to [0038]; fig. 1 to 4 & US 2012/0145911 A1 paragraphs [0033] to [0052]; fig. 1 to 4 & WO 2011/0033841 A1 & EP 2479559 A1 & TW 1132965 A	3-8,10-15
Y	JP 2011-143138 A (Yoshida Seisakusho Co., Ltd.), 28 July 2011 (28.07.2011), paragraph [0007] (Family: none)	4-8,11-15
Y	JP 2013-178242 A (Hitachi High-Technologies Corp.), 09 September 2013 (09.09.2013), paragraphs [0016] to [0020], [0025], [0042] to [0044]; fig. 1 to 2 & US 2014/0328459 A1 paragraphs [0028] to [0032], [0038] to [0039]; fig. 1 to 2 & WO 2013/0118386 A1 & EP 2813841 A1 & CN 103975233 A & KR 10-2014-0089431	5-8,12-15
Y	JP 2001-299733 A (Konica Corp.), 30 October 2001 (30.10.2001), paragraphs [0058] to [0059], [0064] to [0066], [0074] to [0080], [0095] to [0097]; fig. 1, 3 & US 2001/0038707 A1 paragraphs [0090] to [0091], [0096] to [0098], [0104] to [0112], [0127] to [0129]; fig. 1, 3 & EP 1164547 A2	7-8,14-15

A. 発明の属する分野の分類（国際特許分類（IPC））

Int.Cl. G01T1/20(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. G01T1/00-1/16, G01T1/167-7/12, G01N23/00-23/227, G03B42/00-42/08, H04N5/222-5/257

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	1971-2016年
日本国実用新案登録公報	1996-2016年
日本国登録実用新案公報	1994-2016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
Y	JP 2014-198831 A（学校法人 東洋大学）2014.10.23, 段落[0021], 第8図（ファミリーなし）	1-15
Y	JP 2007-155653 A（オリンパス株式会社）2007.06.21, 段落 [0013]-[0020], 第1-2図（ファミリーなし）	1-15
Y	JP 2011-64640 A（浜松ホトニクス株式会社）2011.03.31, 段落 [0020]-[0038], 第1-4図 & US 2012/0145911 A1, 段落[0033]-[0052], 第1-4図 & WO 2011/0033841 A1 & EP 2479559 A1 & TW 1132965 A	3-8, 10-15

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

03.10.2016

国際調査報告の発送日

18.10.2016

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）

藤原 伸二

21

9013

電話番号 03-3581-1101 内線 3272

C (続き) . 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
Y	JP 2011-143138 A (株式会社吉田製作所) 2011. 07. 28, 段落[0007] (ファミリーなし)	4-8, 11-15
Y	JP 2013-178242 A (株式会社日立ハイテクノロジーズ) 2013. 09. 09, 段落[0016]-[0020], 段落[0025], 段落[0042]-[0044], 第 1-2 図 & US 2014/0328459 A1, 段落[0028]-[0032], 段落[0038]-[0039], 第 1-2 図 & WO 2013/0118386 A1 & EP 2813841 A1 & CN 103975233 A & KR 10-2014-0089431	5-8, 12-15
Y	JP 2001-299733 A (コニカ株式会社) 2001. 10. 30, 段落[0058]-[0059], 段落[0064]-[0066], 段落[0074]-[0080], 段落 [0095]-[0097], 第 1 図, 第 3 図 & US 2001/0038707 A1, 段落[0090]-[0091], 段落[0096]-[0098], 段落[0104]-[0112], 段落[0127]-[0129], 第 1 図, 第 3 図 & EP 1164547 A2	7-8, 14-15