

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公開特許公報(A)

(11) 特許出願公開番号

特開2012-170645

(P2012-170645A)

(43) 公開日 平成24年9月10日(2012.9.10)

(51) Int.Cl.	F I	テーマコード (参考)
A 6 1 B 6/00 (2006.01)	A 6 1 B 6/00 3 3 0 Z	2 G 0 0 1
A 6 1 B 6/06 (2006.01)	A 6 1 B 6/06 3 3 1	2 G 0 8 8
G 0 1 T 7/00 (2006.01)	G 0 1 T 7/00 B	4 C 0 9 3
G 0 1 N 23/04 (2006.01)	G 0 1 N 23/04	
G 0 1 N 23/20 (2006.01)	G 0 1 N 23/20	
審査請求 未請求 請求項の数 6 O L (全 14 頁) 最終頁に続く		

(21) 出願番号 特願2011-36114 (P2011-36114)
(22) 出願日 平成23年2月22日 (2011. 2. 22)

(71) 出願人 000001007
キヤノン株式会社
東京都大田区下丸子3丁目30番2号
(74) 代理人 100105289
弁理士 長尾 達也
(72) 発明者 山口 公明
東京都大田区下丸子3丁目30番2号 キ
ヤノン株式会社内
(72) 発明者 田 透
東京都大田区下丸子3丁目30番2号 キ
ヤノン株式会社内
Fターム(参考) 2G001 AA01 BA11 CA01 LA01
2G088 FF02 JJ11
4C093 AA07 AA26 AA29 CA32 EA02
EB05 EB17 FA15 FA33 FA53
FD05

(54) 【発明の名称】 X線撮像装置およびX線撮像方法

(57) 【要約】

【課題】位相イメージングにより被検体の位相像を取得するに当たり、被検体における吸収情報に対する位相情報の割合が最大限取得可能となるX線撮像装置を提供する。

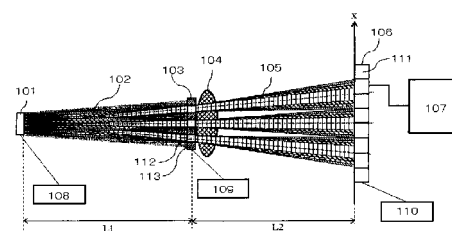
【解決手段】X線撮像装置であって、X線源と、

前記X線源から照射された発散X線を複数のX線に分割するための複数の開口を具備する、前記X線源と被検体との間に配置された分割素子と、

前記被検体を透過し屈折した前記発散X線によるX線ビームを検出するため、該X線ビームの照射方向の被検体よりも下流に配置された検出器と、

前記検出器により検出されたX線ビームの強度変化の情報を演算処理する演算処理手段と、を備え、

前記X線源と前記分割素子の距離をL1、前記分割素子と前記検出器の距離をL2とすると、 $L2/L1$ の値が1.0より大きく2.4未満の範囲となるように構成されている。



【選択図】

図1

【特許請求の範囲】

【請求項 1】

X線撮像装置であって、
X線源と、

前記X線源から照射された発散X線を複数のX線に分割するための複数の開口を具備する、前記X線源と被検体との間に配置された分割素子と、

前記被検体を透過し屈折した前記発散X線によるX線ビームを検出するため、該X線ビームの照射方向の被検体よりも下流に配置された検出器と、

前記検出器により検出されたX線ビームの強度変化の情報を演算処理する演算処理手段と、を備え、

10

前記X線源と前記分割素子の距離を L_1 、前記分割素子と前記検出器の距離を L_2 とすると、 L_2/L_1 の値が 1.0 より大きく 2.4 未満の範囲となるように構成されていることを特徴とするX線撮像装置。

【請求項 2】

前記X線源の焦点サイズを 80 以上 $100\mu\text{m}$ 以下とし、

前記画素のサイズを 50 以上 $150\mu\text{m}$ 以下とし、

前記分割素子の前記開口の幅を 20 以上 $50\mu\text{m}$ 以下とすると、

前記 L_2/L_1 の値が 1.1 より大きく 1.5 未満の範囲となるように構成されていることを特徴とする請求項1に記載のX線撮像装置。

20

【請求項 3】

前記X線源と前記分割素子の距離である L_1 と、前記分割素子と前記検出器の距離である L_2 が、それぞれ以下に示す範囲を満たすことを特徴とする請求項1乃至2のいずれか1項に記載のX線撮像装置。

$0.3\text{m} \leq L_1 \leq 2\text{m}$ 、 $0.3\text{m} \leq L_2 \leq 4.8\text{m}$

【請求項 4】

前記分割素子を透過するX線ビームの形状は、シート状、ドット状であることを特徴とする請求項1乃至3のいずれか1項に記載のX線撮像装置。

【請求項 5】

前記X線ビームが、前記検出器を構成する隣接する画素に対して二つ以上跨ぐことを特徴とする請求項1乃至4のいずれか1項に記載のX線撮像装置。

30

【請求項 6】

X線源から照射された発散X線を分割素子により複数のX線に分割し、該分割された前記発散X線によるX線ビームを被検体に透過させた際に生じるX線ビームの強度変化を、検出器により検出するX線撮像方法であって、

前記分割素子と前記被検体と前記検出器とを、この順に前記X線源による前記発散X線の照射方向の光路上に配置し、

前記X線源と前記分割素子の距離と、前記分割素子と前記検出器の距離の関係を、前記X線ビームが検出器上で重ならない距離の関係とすることによって、

前記被検体における吸収情報に対する位相情報の割合を最大限取得可能とすることを特徴とするX線撮像方法。

40

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明はX線を用いたX線撮像装置、およびX線撮像方法に関する。

【背景技術】

【0002】

放射線を用いた非破壊検査法は工業利用から医療利用まで幅広い分野で用いられている。

例えば、X線は波長が約 1pm 以上 10nm 以下の電磁波であり、各物質の質量減弱係数

50

差を用いた吸収コントラスト法はX線の透過能の高さを利用し、金属系材料などの内部亀裂検査、食品に混入された異物や手荷物検査などのセキュリティ分野の用途として実用化されている。

しかしながら、プラスチックやアクリル樹脂などを代表とする高分子材料系は、質量減弱係数差が小さいため吸収コントラスト法では検出・検知することが困難である。

【0003】

放射線の吸収によるコントラストが形成され難い軽元素で構成されている被検体や低密度差の境界面を有する被検体に対しては、被検体によるX線の位相変化を検出する位相イメージングが有効である。

このような位相イメージングを用いた方法は、高分子材料系のイメージングや軟組織などの医療系への応用が有力である。

各種X線位相イメージングにおいて、特許文献1や特許文献2ではX線の被検知物による位相変化による屈折効果を利用したX線撮像方法が提案されている。

これらの方法では、X線光学手段によって空間的に分割したX線を被検体に照射し、被検体で屈折したX線を二次元検出器に入射するように設計されている。

このような手法によれば、屈折したX線の屈折量を二次元検出器の強度分布から得ることができる。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0004】

【特許文献1】特開2008-200358号公報

【特許文献2】国際公開95/05725号パンフレット

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0005】

ところで、特許文献1や特許文献2に記載された方法に限らず、被検体の屈折率を可視化する際、屈折情報から吸収情報を完全に分離して屈折情報だけから被検体の位相像を得ることは困難である。

特許文献1や特許文献2では、被検体の特定空間の平均屈折率を検出することができるが、特定空間の吸収は一樣であることが前提条件となっている。

しかしながら、特定空間内の屈折率が一樣でない場合は、必ずしも吸収率が一樣ではない。

そのため、検出器上で形成するX線ビームの位置ずれから被検体の屈折量を求める際には、被検体で屈折したX線ビームの微小な変化量と被検体で減衰したX線の強度むらによる変化量を切り分けることができない。

【0006】

本発明は、上記課題に鑑み、位相イメージングにより被検体の位相像を取得するに当たり、被検体における吸収情報に対する位相情報の割合が最大限取得可能となるX線撮像装置およびX線撮像方法の提供を目的とする。

【課題を解決するための手段】

【0007】

本発明のX線撮像装置は、
X線源と、

前記X線源から照射された発散X線を複数のX線に分割するための複数の開口を具備する、前記X線源と被検体との間に配置された分割素子と、

前記被検体を透過し屈折した前記発散X線によるX線ビームを検出するため、該X線ビームの照射方向の被検体よりも下流に配置された検出器と、

前記検出器により検出されたX線ビームの強度変化の情報を演算処理する演算処理手段と、を備え、

前記X線源と前記分割素子の距離をL1、前記分割素子と前記検出器の距離をL2とす

10

20

30

40

50

るとき、 $L2/L1$ の値が1.0より大きく2.4未満の範囲となるように構成されていることを特徴とする。

また、本発明のX線撮像方法は、X線源から照射された発散X線を分割素子により複数のX線に分割し、該分割された前記発散X線によるX線ビームを被検体に透過させた際に生じるX線ビームの強度変化を、検出器により検出するX線撮像方法であって、

前記分割素子と前記被検体と前記検出器とを、この順に前記X線源による前記発散X線の照射方向の光路上に配置し、

前記X線源と前記分割素子の距離と、前記分割素子と前記検出器の距離の関係を、前記X線ビームが検出器上で重ならない距離の関係とすることによって、

前記被検体における吸収情報に対する位相情報の割合を最大限取得可能とすることを特徴とする。

10

【発明の効果】

【0008】

本発明によれば、位相イメージングにより被検体の位相像を取得するに当たり、被検体における吸収情報に対する位相情報の割合が最大限取得可能となるX線撮像装置およびX線撮像方法を実現することができる。

【図面の簡単な説明】

【0009】

【図1】本発明の実施形態におけるX線撮像装置の構成例を説明する模式図。

【図2】本発明の実施形態における検出器上に形成されるX線ビームの模式図。

20

【図3】本発明の実施形態におけるジオメトリのシミュレーション結果を示す図。

【図4】本発明の実施例1におけるX線撮像装置の構成例を説明する模式図。

【図5】本発明の実施例1における検出器上に形成されるX線ビームの模式図。

【図6】本発明の実施例1におけるアクリル樹脂のシミュレーション画像を示す図。

【図7】本発明の実施例1におけるアクリル樹脂のシミュレーション結果を示す図。

【図8】本発明の実施例1におけるジオメトリのシミュレーション結果を示す図。

【図9】本発明の実施例1におけるジオメトリのシミュレーション結果を示す図。

【図10】本発明の実施例2におけるX線撮像装置の構成例を説明する模式図。

【発明を実施するための形態】

【0010】

30

本発明は、X線源と分割素子と被検体と検出器とが、この順にX線源による発散X線の放射方向の光路上に配置し、X線源と分割素子の距離を $L1$ とし、分割素子と検出器の距離を $L2$ とするとき、

これらの $L1$ と $L2$ とを、X線ビームが検出器上で重ならない距離の関係とすることによって、被検体における吸収情報に対する位相情報の割合が最大限取得可能となることを見出したことによるものである。

このような $L2/L1$ の値は、X線源の焦点サイズ f 、分割素子の開口幅 G_a 、検出器の画素サイズ P_s から求めることができるが、これらの詳細については以下の本発明の実施形態の説明により明らかにする。

図1に、本実施形態における球面波を発生するX線源と発生したX線を空間的に分割する分割素子と二次元X線検出器を用いた、X線の位相変化から像を得るX線撮像装置の構成例を説明する図を示す。

40

図1に示すように、本実施形態のX線撮像装置では、発散X線102を発生させて被検体に対して照射するX線源101を備える。

そして、分割素子103、被検体104、検出器106を、この順にX線源101による発散X線102の照射方向の光路上に配置する。

発散X線102を空間的に分割する分割素子103は、シート状、ドット状の形状のX線ビームを形成する。これは、医療用レントゲン装置で、被検体を撮像中に発生する散乱X線を除去するために使用する集束型グリッドと同様に、X線を透過し易い軽元素で作られた箔112とX線を遮光する重元素で作られた箔113を交互に重ねて形成される。

50

X線を透過するための箔112はアルミニウム、紙、合成樹脂などが用いられる。

一方、X線を遮光するための箔113は白金、金、鉛、タンタル、タングステン等が用いられる。

また、X線を遮光するための箔113を一定の間隔を維持して両端を固定することで、X線を透過する部分を空気としても良く、本件では空気を含めて箔と呼ぶ。

【0011】

検出器106は、被検体を透過し屈折した発散X線によるX線ビームを検出するため、該X線ビームの照射方向において被検体よりも下流に配置されている。そして、検出器106は、複数の画素111が二次元的に配置されて構成されている。

図2は検出器106の一部分を図1におけるY方向から見た図である。

X線ビーム105の強度は、画素111エリア内に入射したX線のフォトン数を積算することで得ているため、検出器106の空間分解能は画素111の空間サイズで決まっている。

図2に示すように、被検体104を透過したX線ビーム105を複数の画素111に跨って照射することで、被検体が無い時の基準X線ビーム114に対する位置変化量を得ることが可能である。

一般的には、検出器106で形成されるX線ビーム105の幅が細くなるほど、各画素111で検出するX線強度に対するX線ビーム105の位置ずれで生じる強度差が相対的に向上する。

よって、X線ビーム105の位置ずれで生じる強度差がノイズに埋もれる可能性が低減し、被検体104の屈折量を明確に得ることが可能になるため位相検出感度が向上する。

本実施形態では、被検体を透過中に屈折したX線ビーム105と、被検体が無い時の基準X線ビーム114の検出器106上での位置ずれ量 dx_p と、X線ビーム105が検出器106上で形成する幅 G_d を用いて位相検出感度を dx_p / G_d で表す。

図2はX線ビーム105が隣接する2つの画素111に跨っているが、跨っている画素111の数は2以上跨っていれば本質的にいくつでも良い。

【0012】

図2に示すように、X線ビーム105が検出器106上で形成する幅 G_d は、X線源から発生する発散X線102の輝度は一定、分割素子103の開口幅を G_a とし被検体104がない場合は、次の式1で表すことができる。

$$G_d = G_a \times (L_1 + L_2) / L_1 + f \times L_2 / L_1 \cdots \text{式1}$$

また、被検体を透過中に屈折したX線ビーム105と、被検体が無い時の基準X線ビーム114の検出器106上での位置ずれ量 dx_p は次の式2で表すことができる。

$$dx_p = L_2 \times \tan(\alpha) \cdots \text{式2}$$

但し、 α はX線ビーム105が被検体104で屈折する角度である。

被検体104を透過中に減衰したX線ビーム105は、被検体104の形状に応じて強度が変化するため、X線ビーム105の強度の重心位置と被検体が無い時の基準X線ビーム114の強度の重心位置にずれが生じる。

被検体104の吸収差で生じるX線ビーム105の位置ずれ dx_a は、被検体104の形状や厚みのみに依存する。

被検体104の屈折で生じるX線ビーム105の位置ずれ dx_p と吸収成分で生じるX線ビームの位置ずれ dx_a を完全に分離することは困難である。

しかし、 dx_a は L_2 に依存しないため、式2より、 L_2 を大きくすることで吸収情報に対する位相情報の割合を高くすることが可能である。

また、一般的には、検出器106の画素111のサイズよりも dx_p の方が小さいため、 dx_p を検出するためにも L_2 を大きく取ることが重要である。

【0013】

しかしながら、有限の焦点サイズから発生する発散X線102を用いる場合は、L2を大きく取ると隣り合うX線ビーム105が検出器106上で重なるため、個々のX線ビーム105の正確な位置情報を得ることが難しくなる。

隣り合うX線ビーム105が検出器106上で重なり合わない条件は、一つのX線ビーム105の一次元方向の位置情報を検出するために必要な画素111の数nとしたとき次の式3で表すことができる。

$$Gd + dxp + dxa < n \times Ps \cdots \text{式 3}$$

10

式3に式1を代入すると次の式4になる。

$$Ga \times (L1 + L2) / L1 + f \times L2 / L1 + dxp + dxa < n \times Ps \cdots \text{式 4}$$

また、式4をL2/L1で括ると次の式5で表すことができる。

$$L2 / L1 + (dxp + dxa) / (Ga + f) < (n \times Ps - Ga) / (Ga + f) \cdots \text{式 5}$$

Ga + fは100 μm前後なのに対してdxp + dxaは最大で数ミクロン程度なためGa + f ≫ dxp + dxaとなり、式5は次の式6に変換することができる。

20

$$L2 / L1 < (n \times Ps - Ga) / (Ga + f) \cdots \text{式 6}$$

図3に式1、式2、式6から、横軸に装置のジオメトリL2/L1、縦軸に位相検出感度dxp/Gdをプロットした図を示す。

図3の細線は、f = 100 μm、Ps = 100 μm、Ga = 33 μm、n = 2の計算結果である。

式6よりL2/L1 = 1.25のとき位相検出感度dxp/Gdは最大値を取り、L2/L1 > 1.25では隣り合うX線ビーム105が検出器106上で重なるため、個々のX線ビーム105の正確な位置情報を得ることが難しくなる。

30

同様に、図3の太線はf = 50 μm、Ps = 100 μm、Ga = 33 μm、n = 2の計算結果である。

式6よりL2/L1 = 2.0のとき位相検出感度dxp/Gdは最大値を取り、L2/L1 > 2.0では隣り合うX線ビーム105が検出器106上で重なり合う。

図3には示さないが、X線源101の焦点サイズを50～150 μm、画素111のサイズを50～100 μm、分割素子103の開口幅を20～75 μmとする。これにより、吸収情報に対する位相情報の割合を最大限得られる適切なL2/L1の範囲は1.0より大きく2.4未満(1.0 < L2/L1 < 2.4)となる。

また、X線の輝度と位相検出感度を考慮した場合は、X線源の焦点サイズを80以上100 μm以下とし、画素のサイズを50以上150 μm以下とし、分割素子の開口の幅を20以上50 μm以下とするとき、

40

前記X線源と前記分割素子の距離であるL1に対して、前記分割素子と前記検出器の距離であるL2が1.1～1.5倍長とする(1.1 < L2/L1 < 1.5とする)ことにより、吸収情報に対する位相情報の割合を最大限取得することが可能となる。

【0014】

本実施形態の分割素子103は一次元を元に明記しているが、二次元でも良い。

分割素子103が二次元の場合、X線ビーム105が被検体104で屈折する角度はx方向、y方向で独立している。

検出器106の画素111が二次元に配置されている場合は、y方向の屈折量に関しても

50

図 2 で示した x 方向の屈折量の検出方法と同様の方法で求めることが可能である。

【実施例】

【0015】

以下に、本発明の実施例について説明する。

[実施例 1]

実施例 1 においては、図 4 を用いて、本発明を適用した X 線撮像装置の構成例について説明する。

図 4 において、101 は発散 X 線 102 を発生する X 線源、103 は分割素子、104 は被検体、106 は二次元検出器である。

また、108、109、110 はそれぞれ X 線源 101、分割素子 103、検出器 106 の移動・回転手段、107 は検出器により検出された X 線ビームの強度変化の情報を演算処理する演算装置（演算処理手段）である。

本実施例において、X 線源 101 としては、モリブデン、銀やタングステンターゲットの回転対陰極型の X 線発生装置を用いる。

X 線源 101 から発生した発散 X 線 102 の発生源における輝度の分布は正規分布を仮定し、焦点サイズは正規分布関数の半値全幅とする。X 線源 101 から発生した発散 X 線 102 は X 線源 101 から 100 cm 離れた位置に配置した分割素子 103 により空間的に分割される。

【0016】

分割素子 103 は、X 線を透過するための箔 112 と X 線を遮光するための箔 113 を交互に重ね合わせ、集束位置は分割素子 103 から X 線源方向 100 cm の位置にある。この分割素子 103 には D25、D33、D50、D75 の 4 種類があり、それぞれ X 線を透過するための箔 112 の膜厚（Ga）と X 線を遮光するための箔 113 の膜厚（Gb）が、次の表 1 に示すようにそれぞれ異なっている。

[表 1]

	X線を透過する箔		X線を遮光する箔	
	材質	膜厚(um)	材質	膜厚(um)
D25	アルミニウム	25	鉛	75
D33	アルミニウム	33	鉛	67
D50	アルミニウム	50	鉛	50
D75	アルミニウム	75	鉛	25

【0017】

被検体 104 は分割素子 103 の直後に設置し、分割素子 103 と検出器 106 の距離を 10～300 cm とする。

図 5 は検出器 106 の一部分を図 4 における Y 方向から見た図である。

図 5 に示すように、被検体 104 を透過した X 線ビーム 105 を複数の画素 111 に跨って照射することで X 線ビーム 105 の検出器 106 上での位置及び屈折量を得ることが可能である。

本実施例の画素サイズは 100 μ m である。

被検体を透過した X 線ビーム 105 が照射されている場合の 2 つの画素の X 線検出強度を I01、I02、被検体が無い時の基準 X 線ビーム 114 が照射されている 2 つの画素の X 線検出強度を I11、I12 とすると、

検出器 106 で検出可能な X 線ビーム 105 の基準 X 線ビーム 114 に対する強度の変化量 dI は、次の式 7 によって表される。

10

20

30

40

50

$$dI = (I_{01} - I_{02}) / (I_{01} + I_{02}) - (I_{11} - I_{12}) / (I_{11} + I_{12}) \cdots \text{式 7}$$

図 6 に D 2 5 の分割素子を用いて $L_1 = 1 \text{ m}$, $L_2 = 1 \text{ m}$, $f = 100 \mu\text{m}$ の条件下で円柱状の亚克力樹脂を透過した個々の X 線ビーム 1 0 5 の式 7 の dI をマッピングしたシミュレーション結果を示す。

本シミュレーションの X 線源 1 0 1 は、 17.5 keV (0.071 nm) の単色光で焦点サイズは $100 \mu\text{m}$ の正規分布関数を使用している。

また、検出器 1 0 6 の MTF の広がり関数には 101 p/mm で 0.1 となる正規分布関数を使用している。

X 線ビーム 1 0 5 が検出器 1 0 6 及び画素 1 1 1 にランダムに到達することによる空間的揺らぎで生じるポアソンノイズに代表されるノイズ系は含んでいない。図 6 (a) の計算には、亚克力樹脂のパラメータに複素屈折率 $1 - \delta - i\beta$ を使用した。

また、図 6 (b) の計算には、亚克力樹脂のパラメータに複素屈折率 $1 - \delta - i\beta$ の実部を使用した。

また、図 6 (c) の計算には、亚克力樹脂のパラメータに複素屈折率 $1 - \delta - i\beta$ の虚部を使用した。

このことから、図 6 (a) の微分像には亚克力樹脂の吸収成分と位相成分、図 6 (b) の微分像には亚克力樹脂の位相成分、図 6 (c) の微分像には亚克力樹脂の吸収成分をそれぞれ計算している。

つまり、図 6 (b) と図 6 (c) を比較することで、図 6 (a) に含まれる吸収情報に対する位相情報の割合が分かる。

【0018】

図 6 (b) と図 6 (c) の破線部のラインプロファイルを図 7 の破線でそれぞれ示す。図 7 (a) と図 7 (b) の破線のラインプロファイルから微分位相像の信号強度は、微分吸収像の信号強度よりも 4 倍程度大きいいため、図 6 (a) に含まれる位相成分の割合は約 80% であることが分かる。

同じシミュレーションを D 2 5、D 3 3、D 5 0、D 7 5 の各分割素子 1 0 3 に対して、X 線源 1 0 1 と分割素子 1 0 3 の距離を 100 cm 、分割素子 1 0 3 と検出器 1 0 6 の距離を $10 \sim 300 \text{ cm}$ まで変化させた。そのときの微分像に含まれる位相成分の割合をプロットした図を図 8 に示す。

図 8 から D 2 5 の分割素子 1 0 3 では $L_2 = 130 \text{ cm}$ 、D 3 3 の分割素子 1 0 3 では $L_2 = 120 \text{ cm}$ 、D 5 0 の分割素子 1 0 3 では $L_2 = 120 \text{ cm}$ 、D 7 5 の分割素子 1 0 3 では $L_2 = 100 \text{ cm}$ のとき、それぞれの位相成分の割合の最大値が得られる。

【0019】

吸収成分は被検体 1 0 4 の形状や厚みに依存するのに対して、位相成分は式 2 より分割素子 1 0 3 と検出器 1 0 6 の距離に依存する。

このことから、同じ分割素子 1 0 3 で同じ被検体 1 0 4 を撮像する場合、得られる微分像に含まれる位相成分の割合が最大になる L_2 / L_1 の値は L_1 及び L_2 の値によらず一定である。

図 9 に、D 2 5 の分割素子を用いて、X 線源 1 0 1 と分割素子 1 0 3 までの距離を 25 cm 、 50 cm 、 100 cm 、分割素子 1 0 3 と検出器 1 0 6 の距離を $10 \sim 300 \text{ cm}$ まで変化させた。そのときの亚克力樹脂の微分像に含まれる位相成分の割合をプロットした図を示す。

X 線源 1 0 1 と分割素子 1 0 3 までの距離を増加すると微分像に含まれる位相成分の割合が増加するが、位相成分が最大になる L_2 / L_1 の値は常に 1.3 である。

同様の計算を D 2 5 の分割素子に対して $f = 90 \mu\text{m}$ の条件下でシミュレーションを行うと位相成分が最大になる L_2 / L_1 の値は常に 1.4 、 $f = 80 \mu\text{m}$ の条件下で位相成分が最大になる L_2 / L_1 の値は常に 1.5 である。

【0020】

本シミュレーションで得られる位相成分が最大になる $L2/L1$ の値は、式 6 で得られる位相成分が最大になる $L2/L1$ の値よりも 1 割程度小さい。

これは、式 6 を導出する過程で $G a + f \gg d x p + d x a$ の近似を用いていることと、検出器 106 の MTF による X 線ビーム 105 のボケを考慮していないことに起因している。しかしながら、図 9 より、本シミュレーションで得られる位相成分が最大になる $L2/L1$ と、式 6 で得られる位相成分が最大になる $L2/L1$ のそれぞれの吸収成分に対する位相成分の割合は、

1 ~ 2 % 程度の差しかないため、式 6 で得られる $L2/L1$ を用いて被検体 104 を撮像しても良い。

【0021】

図 9 から $100 \mu m$ の焦点サイズの X 線源 101、 $D = 25$ の分割素子 103 を用いて微分像に含まれる位相成分の割合が最大にする X 線撮像装置の実際のジオメトリは、

$L1 = 0.3 m$ のとき $L2 = 0.4 m$ 、

$L1 = 1 m$ のとき $L2 = 1.3 m$ 、

$L1 = 1.55 m$ のとき $L2 = 2 m$ 、

$L1 = 2.0 m$ のとき $L2 = 2.6 m$ 、

などが選択肢として考えられる。

同様に、図 8 から $D = 50$ の分割素子 103 では、

$L1 = 0.3 m$ のとき $L2 = 0.36 m$ 、

$L1 = 1.0 m$ のとき $L2 = 1.2 m$ 、

$L1 = 1.67 m$ のとき $L2 = 2 m$ 、

$L1 = 2 m$ のとき $L2 = 2.4 m$ 、

などが選択肢として考えられる。

図 9 より、 $L2/L1$ が一定下では、 $L1$ 及び $L2$ が長くなるほど微分像に含まれる位相成分の割合が増加するが、 $L1 + L2$ は装置の大きさに直接影響を及ぼしたり、X 線ビーム 105 一本当たりの X 線強度が減少したりする課題が残っている。

【0022】

[実施例 2]

実施例 2 においては、実施例 1 を説明した一次元方向の X 線位置変化検出に二次元加えて、二次元方向の X 線位置変化検出を同時に測定する方法について説明する。

図 10 を用いて、X 線撮像装置の構成例について説明する。図 10 (a) において、101 は発散 X 線を発生する X 線源、103 と 201 は一次元分割素子、104 は被検体、106 は二次元検出器である。

108、109、117、202 はそれぞれ X 線源 101、一枚目の分割素子 103、二枚目の分割素子 201、検出器 106 の移動・回転手段である。

【0023】

X 線源 101 から発生した X 線は、一枚目の分割素子 103 の X 線が透過する箔 112 と二枚目の分割素子 201 の X 線が透過する箔 112 が空間的に重なっている部分のみ透過することができる。このため、分割素子 103、201 で分割した X 線ビーム 105 は二次元ドットアレイ状を形成している。

一般的な検出器 106 における二次元情報は、x 方向、y 方向で 90 度ずれているため、一枚目の分割素子 103 と二枚目の分割素子 201 の箔が積層されている方向が、互いに 90 度ずれているとき最も都合がよい。

検出器 106 における二次元情報の x 方向、y 方向の角度が 90 度以外の場合は、その角度に合わせて一枚目の分割素子 103 と二枚目の分割素子 201 の角度を調整することが望ましい。

また、検出器 106 の x 方向、y 方向の角度と、一枚目の分割素子 103 と二枚目の分割素子 201 の箔が積層されている方向の角度が異なっても、式 7 を用いて dI のマッピングを作成する際に補正を加えることで屈折情報を明確にすることができる。

【0024】

X線ビーム105が被検体104で屈折する角度は、x方向とy方向で独立しているため、被検体104の位相成分の割合を最大にする $L2/L1$ の比は、二次元の場合でも一次元と同じである。

このことから、図8及び図9よりD25の一次元分割素子103とD25の一次元分割素子201の2枚用いて二次元状の分割素子とした場合は、

$L2/L1 = 1.3$ のときx方向y方向共に位相成分の割合が最大値を得ることができる。

また、図8より1枚目の分割素子103と2枚目の分割素子201の距離は10cm程度離れていても、x方向とy方向の微分像に含まれる位相成分の割合の誤差は数%程度ですむため画質に大きな問題を生じにくい。

図9に示すように、1枚目の分割素子103と2枚目の分割素子201の位置関係で生じる微分像に含まれる位相成分の割合の誤差は、X線源101と検出器106の距離が長くなるほど少なくなる。

【0025】

二次元状の分割素子は、図10(b)に示すように二枚の一次元分割素子103を互いに面内で90度維持した状態で貼り合わせて形成されたものでもよい。また、X線を遮光するタングステンなどの板に放電加工で穴をアレイ状に空けたものや、X線の透過するシリコン基板上にX線を遮光する物質を微細加工にてアレイ状に形成されたものでもよい。

【符号の説明】

【0026】

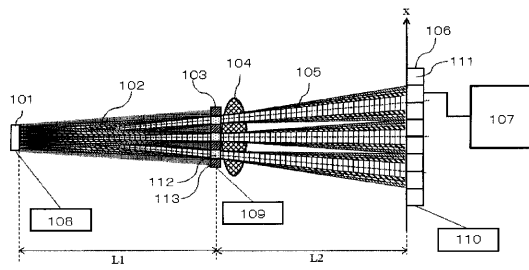
- 101：X線源
- 102：発散X線
- 103：分割素子
- 104：被検体
- 105：X線ビーム
- 106：検出器
- 107：演算装置
- 108：X線源を移動・回転する手段
- 109：分割素子を移動・回転する手段
- 110：二次元検出器を移動・回転する手段
- 111：画素
- 112：X線を透過するための箔
- 113：X線を遮光するための箔
- 114：被検体が無い時の基準X線ビーム

10

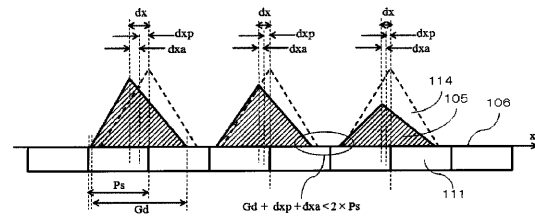
20

30

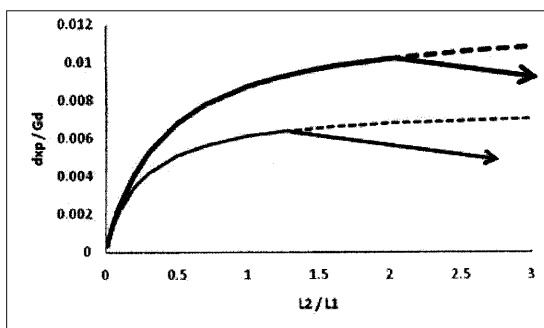
【図 1】



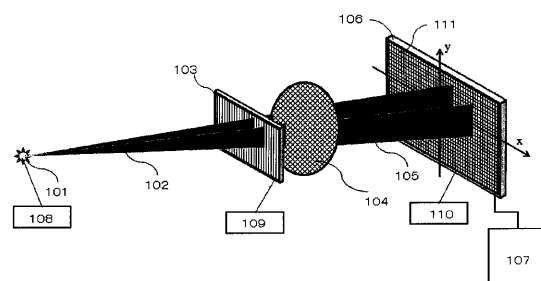
【図 2】



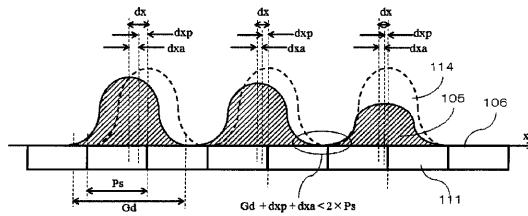
【図 3】



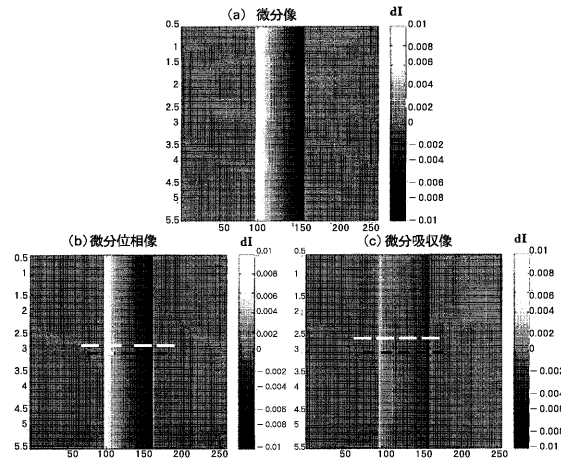
【図 4】



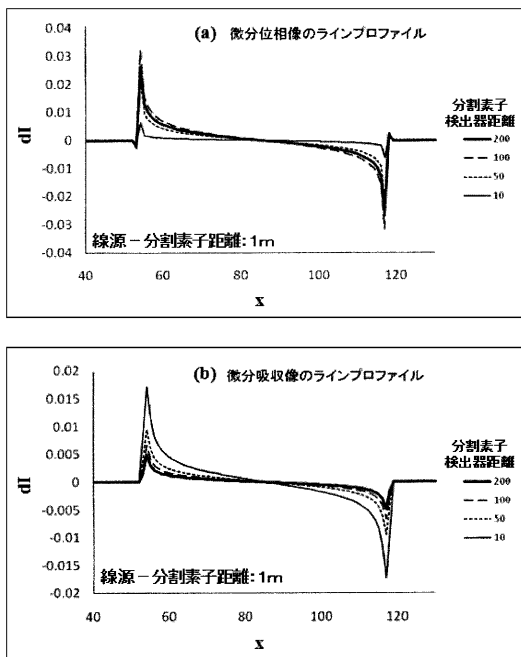
【図 5】



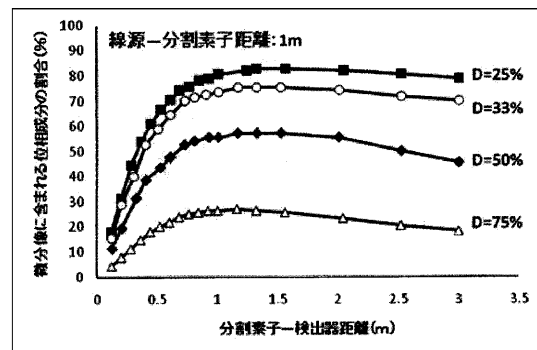
【図 6】



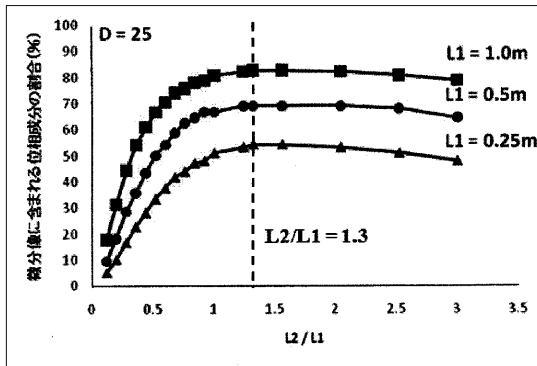
【図 7】



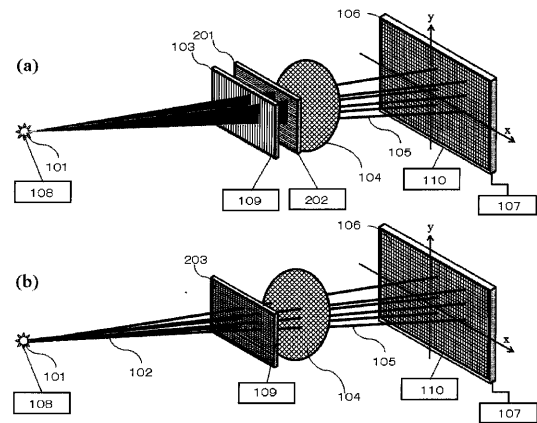
【図 8】



【図 9】



【図 10】



フロントページの続き

(51)Int.Cl.			F I		テーマコード (参考)
G 2 1 K	1/02	(2006.01)	G 2 1 K	1/02	Z