

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開2001-128960

(P2001-128960A)

(43) 公開日 平成13年5月15日 (2001.5.15)

(51) Int.Cl. ⁷	識別記号	F I	テーマコード* (参考)
A 6 1 B 6/00	3 0 0	A 6 1 B 6/00	3 0 0 J 2 H 0 1 3
G 0 3 B 42/02		G 0 3 B 42/02	3 0 0 X 4 C 0 9 3
			Z

審査請求 有 請求項の数10 O L (全 11 頁)

(21) 出願番号 特願平11-314412
 (22) 出願日 平成11年11月4日 (1999.11.4)

(71) 出願人 391012707
 高エネルギー加速器研究機構長
 茨城県つくば市大穂1番地1
 (71) 出願人 591106462
 茨城県
 茨城県水戸市笠原町978番6
 (72) 発明者 森 浩一
 茨城県稲敷郡阿見町阿見4733-305
 (72) 発明者 安藤 正海
 茨城県つくば市高野台2-5-13
 (74) 代理人 100089336
 弁理士 中野 佳直

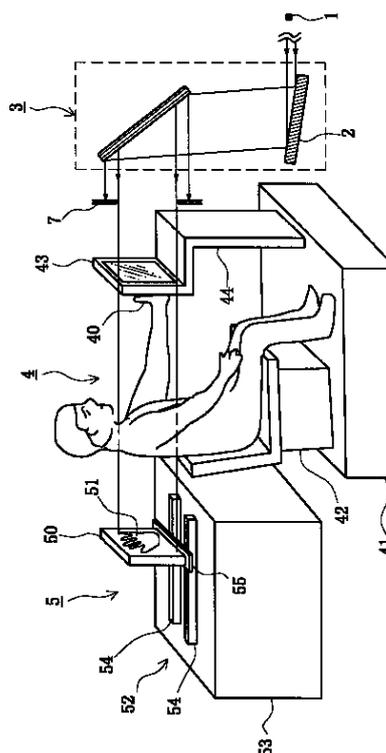
最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 微小病変のX線撮影システム

(57) 【要約】

【課題】 被写体に合わせてX線照射野を設定し、X線のパワーを効率よく撮影に用い、微小病変部を高い画像コントラストで描画し、患者に適切な診断と病後管理を行えるようにすること。

【解決手段】 X線源1、1または複数のシリコン単結晶板2からなるX線光学系3、撮影部4、画像記録部5から構成される。X線源1は高輝度且つ高空間干渉性を有する放射線を発生し、X線光学系にて被写体40の大きさに合わせたX線照射野を作成する。画像記録媒体50とアクリル板などの被写体固定部43との距離をX線の干渉度に合わせて設定する。被写体の撮影部位を被写体固定部に当接させて固定した後、X線を照射して撮影する。



【特許請求の範囲】

【請求項1】 高輝度且つ高空間干渉性を持つ放射光X線源と、

前記X線の性質を保持ないし増強すると共に、X線強度が均一な照射野を確保するX線光学系と、

該X線光学系で確保された照射野のX線を人体、動物等の撮影部位に照射する撮影部と、

X線を照射された撮影部位を画像記録媒体に記録する画像記録部と、を備えた微小病変のX線撮影システム。

【請求項2】 人体、動物等の撮影部位を固定する被写体固定部と画像記録媒体間の距離を調整する手段を備えていることを特徴とする請求項1記載の微小病変のX線撮影システム。

【請求項3】 前記距離調整手段が画像記録部側に設けられていることを特徴とする請求項2記載の微小病変のX線撮影システム。

【請求項4】 人体、動物等の撮影部位に対して異なる入射角度でX線照射を行うX線照射方向変更手段を備えていることを特徴とする請求項1～3のいずれかに記載の微小病変のX線撮影システム。

【請求項5】 1または複数枚のシリコン単結晶板により構成され、X線の性質を保持ないし増強すると共に、X線強度が均一な照射野を確保することを特徴とするX線撮影システムのX線光学装置。

【請求項6】 X線の性質の保持はシリコン単結晶の結晶表面に対しX線の入射角と出射角が等しい対称反射させることを特徴とする請求項5記載のX線撮影システムのX線光学装置。

【請求項7】 X線の性質の増強はシリコン単結晶の結晶表面に対しX線の入射角と出射角が異なる非対称反射させることを特徴とする請求項5記載のX線撮影システムのX線光学装置。

【請求項8】 複数枚のシリコン単結晶板にてX線光学系を構成する場合はシリコン単結晶板における入射面を直交させて配置し、それぞれのシリコン単結晶板に対し、その原子面の法線方向を軸とする回転操作によりX線照射野のサイズを調整することを特徴とする請求項5記載のX線撮影システムのX線光学装置。

【請求項9】 横幅サイズを調整するシリコン単結晶板と縦幅サイズを調整するシリコン単結晶板とをそれぞれ複数枚で構成し、X線の入射光軸と出射光軸が一直線となるよう前記各シリコン単結晶板が配置されていることを特徴とする請求項8記載のX線撮影システムのX線光学装置。

【請求項10】 請求項5～9のいずれかに記載のX線光学装置によりX線光学系が構成されていることを特徴とする請求項1記載の微小病変のX線撮影システム。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明はX線の回折、屈折、

散乱、透過、並びに偏光効果等を伴う物理学的過程を利用して、各種材料の表面構造や内部構造、ヒトや動物の微小病変をX線により撮影するシステムに関するものである。特に、板状のシリコン単結晶（以下シリコン単結晶板という）からなるX線光学系を用いて患部の大きさに合わせた照射野を高輝度X線を利用して作成し、このX線を人体、動物等の患部に照射して微小病変の撮影を可能にした微小病変のX線撮影システムに関する。

【0002】

10 【従来の技術】撮影に利用するX線は、高さや位相に関する情報を持つ波動の性質を有する。従来の医療用X線管装置によるX線撮影画像は、被写体透過後のX線波動における強度の変化（高さの変化）（組織間のX線吸収差）を像として描画するものである。この方法は、X線吸収差の少ない組織から成る被写体に対して、高い画像コントラスト（写真濃度の黒白の差）を得ることが難しく、診断能の低い、もしくは診断能のほとんど無いX線画像しか得られなかった。X線吸収差の小さい被写体は、X線位相の変化を利用して描画すると画像コントラストが非常に高くなることが知られている。

20 【0003】例えば、特表平11-502620号公報には、屈折率変化を示す対象物の境界のイメージを得る方法が提案されている。この方法は、境界に高い横方向空間干渉性および該屈折率変化を横切る伝播成分を有する透過性放射線を照射し、画面上で、境界が対応する強度変化によってイメージ上に表示されるように境界により屈折された放射線の少なくとも一部を受光して、イメージを形成する技術である。

【0004】

30 【発明が解決しようとする課題】従来のX線撮影法は、X線吸収差の非常に小さな被写体の描画ができないことであつた。例えば、骨の微小骨折や人体の軟部組織中の腫瘍や血管等は従来法の単純撮影による描画は困難であり、観血的に行う以外に病変の診断を行うことはできない。従来法では複数のスリットや多重シャッターを用いて照射面のサイズを調整していたので、スリットやシャッターで削除されたX線は画像形成に寄与しない。つまり、X線の利用効率が悪く、より短時間での撮影実施には不向きであるなどの問題があつた。

40 【0005】本発明の目的は、X線光学系により被写体に合わせてX線照射野サイズを設定し、X線のパワーを効率よく撮影に用いることで、より短い撮影時間で微小病変をはじめ、X線吸収差の少ない組織を高画像コントラストで描画し、患者に適切な診断、治療方針の決定、並びに病後管理を行えるようにした微小病変等のX線撮影システムを提供することにある。

【0006】本発明の他の目的は、被写体に合わせてX線照射野サイズを設定し、X線のパワーを効率よく撮影に用いることで短時間撮影を行い被写体の動きによるぼけの影響が少ない画像を得るためのX線撮影システムの

X線光学装置を提供することにある。

【0007】

【課題を解決するための手段】請求項1の発明に係る微小病変のX線撮影システムは、高輝度且つ高空間干渉性を持つ放射光X線源と、X線の性質を保持ないし増強すると共に、X線強度の均一な照射野を確保するX線光学系と、該X線光学系で確保された照射野のX線を人体、動物等の撮影部位に照射する撮影部と、X線を照射された撮影部位を画像記録媒体に記録する画像記録部とを備えた構成にある。請求項1の発明によれば、平行性の高いX線を骨表面や内部のキズなど微小病変部位等に照射し、例えば微少な割れ目などの微小病変部によって起こるX線の回折等の効果を利用して撮影することで、微小病変等をX線位相変化に起因する画像として描出できる。

【0008】請求項2の発明は、請求項1の発明において、人体、動物等の撮影部位を固定する被写体固定部と画像記録媒体間の距離を調整する手段を備えていることを特徴とする。請求項2の発明によれば、撮影部位を安定した体位で固定することにより、被写体の動きによる画像ぼけを軽減し、短時間撮影を実施する。

【0009】請求項3の発明は、請求項2の発明において、距離調整手段が画像記録部側に設けられていることを特徴とする。請求項3の発明によれば、位相変化に起因する画像のコントラストは撮影部位のX線照射位置と画像記録媒体との距離により変化する為、前記距離を適切な位置に調整することにより高画像コントラストが得られる。また、人体、動物等を動かさないため、不安感から生じる体動の防止に役立つ。

【0010】請求項4の発明は、請求項1～3のいずれかの発明において、人体、動物等の撮影部位に対して異なる入射角度でX線照射を行うX線照射方向変更手段を備えていることを特徴とする。請求項4の発明によれば、微小病変部位等を複数の異なる角度で撮影することにより微小病変等の位置、大きさ、形などの特定がし易くなる。

【0011】請求項5の発明に係るX線撮影システムのX線光学装置は、1または複数枚のシリコン単結晶板により構成され、X線の性質を保持ないし増強すると共に、X線の均一照射野を確保することを特徴とする。請求項5の発明によれば、シリコン単結晶におけるX線のブラッグ反射により、X線の進行方向が変わる。シリコン単結晶板を複数組み合わせることで、いろいろな角度で飛来するX線を作ることができる。

【0012】請求項6の発明は、請求項5の発明において、X線の性質の保持はシリコン単結晶の結晶表面に対しX線の入射角と出射角が等しい対称反射させることを特徴とする。請求項6の発明によれば、対称反射のシリコン単結晶におけるX線のブラッグ反射により、特定のエネルギーのX線のみが反射される。つまり、ブラッグ

条件の下でX線のエネルギーを自由に設定できる。X線エネルギーの単色性の向上により高コントラストのX線位相変化に起因する画像が得られる。

【0013】請求項7の発明は、請求項5の発明において、X線の性質の増強はシリコン単結晶の結晶表面に対しX線の入射角（視入射角： $\theta - \alpha$ ）と出射角（視出射角： $\theta + \alpha$ ）が異なる非対称反射させることを特徴とする。 α は結晶表面とブラッグ面のなす角である。請求項7の発明によれば、非対称反射型シリコン単結晶では原子面に対して垂直な軸に対して回転操作を与えることで、非対称度を連続的に変化させることができる。特定方向におけるX線の幅を回転に伴う非対称度の変化に応じて連続的に変更できるので、X線照射野サイズの調整に役立つ。

【0014】請求項8の発明は、請求項5の発明において、複数枚のシリコン単結晶板にてX線光学系を構成する場合はシリコン単結晶板における入射面を直交させて配置し、それぞれのシリコン単結晶板に対し、その原子面の法線方向を軸とする回転操作によりX線照射野のサイズを調整することを特徴とする。請求項8の発明によれば、特定方向におけるX線の幅を非対称度に応じて連続的に変更することで、X線照射野の縦方向と横方向のそれぞれのサイズを独立調整することができる。

【0015】請求項9の発明は、請求項8の発明において、横幅サイズを調整するシリコン単結晶板と縦幅サイズを調整するシリコン単結晶板とをそれぞれ複数枚で構成し、X線の入射光軸と出射光軸が一直線となるよう前記各シリコン単結晶板が配置されていることを特徴とする。請求項9の発明によれば、X線光学系の調整において、X線光軸が一定であれば、装置全体の設置調整が非常に簡単になる。X線の出射位置が正確に予測できればより正確な撮影が実施できる。

【0016】請求項10の発明は、請求項1の発明において、X線光学系が請求項5～9のいずれかに記載のX線光学装置により構成されていることを特徴とする。

【0017】請求項10の発明によれば、被写体の大きさ（厚さ）に応じてX線エネルギーを変更したり、X線の干渉性を調整したり、また撮影に用いるX線照射野サイズを被写体の大きさに合わせて変更したりすることにより画質の向上と被曝線量の軽減効果が大きくなる。

【0018】

【発明の実施の態様】本発明の実施例について図面を参照しながら説明する。先ず、本発明の原理を説明する。本発明は被写体透過後のX線における波動の位相変化を発生・顕在化させる為のX線機器システム工学と画像ぼけの少ない短時間撮影を実施する為のX線撮影技術工学を応用した技術であり、放射光X線の高い空間干渉性と十分なX線強度を利用するものである。本発明の撮影方法における画像コントラストは、X線の回折に伴うX線位相の変化に起因する。つまりX線波動の位相の変化が

大きい程画像コントラストが高くなる。ゆえに、このような部位を線画像として描写する能力が高くなる特徴を有する。

【0019】実際の撮影においては、放射光X線の空間干渉性をより高めるため、数枚のシリコン単結晶板をX線経路に配置し、その表面でブラッグ反射した単色X線を利用した。得られた単色X線を被写体に照射し、高分解能X線フィルムやX線TV等の受像器で撮影する。位相の変化に起因する画像のコントラストは、被写体とX線フィルム等の距離により変化する。通常、被写体と画像記録媒体との間の距離が数10cm～数mの範囲に高画像コントラストを得る撮影位置がある。

【0020】上記原理を微小骨折の撮影に応用した放射光X線撮影システムについて説明する。図1は人体の手部撮影に用いる微小病変のX線撮影システムの模式図である。図2は撮影部の他の実施形態を示す側面図、図3は撮影部の他の実施形態を示す上面図である。微小病変のX線撮影システムは、X線源1、X線光学素子2によりX線の均一照射野を作成するX線光学系3、撮影部4、画像記録部5から構成されている。X線源1は、高輝度且つ高空間干渉性を有する放射線(矢印実線)を発生する。好ましくは、空間コヒーレンス長()が10 μ m、ないしはそれより長い放射線を用いる。ここで、 λ はX線の波長、 θ はその波長を持つX線の空間発散角である。ここで、放射線とは、例えば偏向電磁石や挿入光源から得られる放射光X線やこれをシリコン単結晶に当てることで得られるX線であり、そのエネルギーは3keV～200keVである。空間干渉性の高いX線は、微小病変部でX線回折を起こし、画像記録媒体としてフィルム50上に微細干渉画像51を記録する作用を持っている。

【0021】X線光学系3は、X線の性質を保持ないし増強すると共に、被写体の大きさに合わせて均一強度のX線照射野を作成する機能を有する。特に、放射光X線を複数枚のシリコン単結晶板で反射させることにより空間干渉性の高いX線光子を十分な量フィルムに与えることができるので、被写体40の動きによる画像ぼけの少ない、短時間撮影が実施可能となる。X線光学系3は、後述する図11に示す各種構成を用いることができる。

【0022】本例では、入射光軸と出射光軸が同一軸となる複数のシリコン結晶板の組み合わせたX線光学系を用いている。図6は放射光X線を8枚のシリコン単結晶板で反射させるX線光学系の上面から見た模式図、図7は図6のX線光学系を側面から見た模式図である。前4枚の結晶(X線源側)a～dは横(縦)方向のサイズを調整し、後4枚の結晶e～hは縦(横)方向のサイズが調整可能である。各結晶a～hは、原子面に対して回転可能に構成されている。即ち、結晶a～hを図示の如く、原子面の法線方向を軸とする回転操作によりX線照射野サイズの縦と横、それぞれ任意に調整できる。

【0023】図8はシリコン単結晶板の原子面に対してある角度でX線を入射させたとき出射されるX線を示す図、図9はX線が対称反射の場合を示す図、図10はX線が非対称反射の場合を示す図である。

【0024】(1)対称反射について

図9において、結晶の表面とブラッグ面が平行($\theta = 0$)のときは、入射X線の幅 D_{in} と出射X線の幅 D_{out} は、同じとなる。

【0025】 $D_{in} = D_{out}$

10 シリコン単結晶板による対称反射は、X線束の単色化(エネルギーの決定)、X線進行方向の調整に役立つものである。

【0026】(2)非対称反射について

結晶の表面とブラッグ面が角度 θ をなすときは、入射X線の幅(サイズ) D_{in} と出射X線の幅(サイズ) D_{out} は異なる。ここで、結晶の非対称度を b と定義し、 $b = \sin(\theta - \theta_0) / \sin(\theta + \theta_0)$ とおくと、

$D_{out} = (1/b) \times D_{in}$ ($b > 0$)

20 となる。

【0027】図10において、従来からの横方向Aと縦方向Bの操作に加え、軸周りCの回転を加えることにより照射野サイズの拡大や縮小ができる。一辺の拡大率Mは、 $1/b$ 、 M 、 b の範囲で任意に選べる。

【0028】シリコン単結晶板による非対称反射は、照射面積(照射野)の拡大縮小(サイズの調整)、X線束の単色化(X線エネルギーの決定/被曝線量の軽減)、空間的干渉性の向上、X線進行方向の調整に役立つものである。

30 【0029】本発明のX線光学系は、次の特徴を持っている。①基準となる照射面積に対して、照射面積を連続的に変更できる。結晶の非対象度を図10に示すように、 b とすれば、その拡大率Mは、 $1/b$ 、 M 、 b から任意に選べる。②放射線の進行方向(光軸)が8枚結晶の前後で変わらない。③照射面一辺のサイズが縦横それぞれについて、拡大率を自由に設定可能である。④X線の波長を連続的に変化できるので、自由にX線波長(又はエネルギー)の選択ができる。

【0030】X線光学系の他の実施形態について説明する。図11(A)は結晶を用いずにX線スリットのみで構成した例、図11(B)は1枚で横方向サイズを調整する結晶で構成した例、図11(C)は2枚で横方向サイズを調整する結晶で構成した例、図11(D)は1枚で縦方向サイズを調整する結晶と1つの横方向サイズを調整する結晶で構成した例、図11(E)は2枚で横方向サイズを調整する結晶と1枚で縦方向サイズを調整する結晶で構成した例、図11(F)は2枚で縦方向サイズを調整する結晶と2枚で横方向サイズを調整する結晶で構成した例を示す。図11(B)～(F)のX線の放射軸上に図6の8枚組のX線光学系を配置することで光

軸の位置を維持しかつ縦横のサイズの独立調整が可能となる。

【0031】図1における撮影部4は、撮影台41、患者が座る椅子42、被写体40の手部を固定し、X線を透過して照射するアクリル板等のX線吸収効果の小さい材質からなる被写体固定部43から構成されている。アクリル板の場合は厚さ数mm程度でよい。図1に示す例では、被写体固定部43が撮影台41に支持する被写体固定部支持体44によって支持されており、図2の例ではX線源からの散乱X線を遮蔽する部屋の仕切り壁6側に固定されている。被写体固定部43は、スリット7に対向配置される。スリット7は、X線照射野の外周にほぼ一致させるよう配置される。X線はスリット7を通して放射され、被写体固定部43を透過し人体の手部40に照射される。被写体固定部43の後方にはX線の照射線上に画像記録部5が設置される。

【0032】図2中の破線のX線(斜め上方へ放射)の利用については、患者の状態、疾患の種類、状態により、検査部位(手、足、体患部等)にX線を斜め入射する方がより診断に適した画像が得られる場合に用いる。このような斜め入射機能を付属させることによりシステムの汎用性が高められる。

【0033】被写体固定部43は、図1に示すように撮影台41に固定された被写体固定部支持体44に取付ける構造、或いは図2に示すようにX線源を格納し、又撮影部との区分を図る部屋の仕切壁6に固定された被写体固定部支持体44に取付ける構造により実施される。図5において、被写体固定部43は、被写体固定部支持体44にフレーム45を傾倒機構部49に取り付け、このフレーム45に被写体固定部46を取着する。フレーム45には被写体の下部を支える支え部材47と被写体を固定するためのX線吸収の少ない材質によるベルト48等が設けられている。固定された被写体の疾患部位に合わせてフレーム45を任意角に傾倒させる。被写体40をベルト48等で固定することにより、被写体40の動きによる画像ぼけを軽減すると共に、短時間撮影であっても、その準備から終了までの間、苦痛の少ない楽な体位で被験者の整位(ポジショニング)がとれる。

【0034】図2に示す撮影台41は、人体を倒伏させて足部の撮影を可能にする為、身長にほぼ等しい長さの寝台410により構成されており、その寝台410をほぼ1/3で2分割し、ヒンジ411にて90度回転可能に構成されている。患者を座らせて手部40等を撮影するとき図示の実線で示すように椅子にセットし、または患者を倒伏させて足部等を撮影する場合には図示の破線で示すように寝台410にセットする。

【0035】手部や足部の疾患部位に対してX線の照射位置を変える為に撮影台41の高さと方向の位置調整が可能な構造になっている。図2において、回転テーブル82は、床面と同レベルになる載置面を有し、昇降機構

部80と回転機構部90とによって撮影台41の高さと向きの調整が行われる。昇降機構部80は、例えば図示の如くリンク機構81によって回転テーブル82を支え、このリンク機構81を駆動部(図示せず)によって矢印方向に上下動(Y方向)させ、撮影台41の高さを調節する。また、回転機構部90は、回転テーブル82を水平方向に回転自在に支持し、電動部91と回転テーブル駆動軸92との間を伝動ベルト93により連結し、回転テーブル82を任意の方向に回転させ撮影台41の向きをX線放射方向に対して調整する。レール412は、寝台410をX方向に移動する目的で用いる。

【0036】画像記録部5は、X線フィルム等の画像記録媒体50に画像を記録する機能を有し、画像記録媒体50と被写体固定部43との間の距離(Z方向)を調整する記録媒体移動手段52が設けられている。画像記録媒体50と被写体固定部43の距離は、0.3~4mの範囲を調整可能になっている。

【0037】記録媒体移動手段52は、地上走行装置や天井走行装置によって構成される。地上走行装置は、図1に示すように設置台53の上にレール54を敷き、このレール54上を動く走行部55に画像記録媒体50を取付ける。また、天井走行装置は、図4に示すように天井56にレール57を固定し、この天井レール57に吊り下げられて動く走行部58に画像記録媒体50を取付ける。画像記録媒体50は、伸縮式アームで上下し、ヒンジ部58Bで水平より45°まで傾く。又、天井走行装置は、被写体40と画像記録媒体50の距離を小さくする(0.3~1m程)場合やX線斜入射撮影時に用いる。地上走行装置や天井走行装置は、手動又は動力によるもので構成される。

【0038】本実施例の作用を説明する。X線源1が高輝度且つ高空間干渉性を有する放射線を発生し、X線光学系にて被写体の大きさに合わせたX線照射野を持つX線を生成する。撮影条件(撮影時間、X線エネルギー等)は、撮影部位により異なる。画像記録媒体50と被写体固定部43との距離をX線の干渉度に合わせて設定する。手足40の撮影部位を被写体固定部43に当接させ、好ましくはしっかりと固定した後、X線を照射して画像記録媒体50に記録撮影する。ここで、X線の干渉度と前記距離との関係は、X線の干渉度が比較的高いときは2~4mぐらいが適し、低いときは0.3~2mぐらいが適する。ただし、同時にフィルム等に記録されるX線吸収効果による画像も診断情報を含むのでこれが失われない程の距離に定める。

【0039】微小骨折像は、骨試料と画像記録媒体の距離により大きく依存する。図12は被写体とフィルム間の距離Z=0.7mにおける撮影画像(白矢印部分が骨折部位を示す)である。図13は撮影画像の微小骨折部位をスケッチした図である。本例は乾燥人骨に対して、衝撃を与えて人為的に微小骨折を作ったものである。尚、

図中の符号Hは骨上で圧力（外力）のかかった点（打撃点）、AはHから生じた縦方向の微小骨折像、BはHから生じた横方向の微小骨折像を示す。

【0040】図12に示す画像は印画紙に焼き付けているので、原フィルムとは白黒濃度が反転している。この画像には試料のX線吸収差に起因するコントラストとX線位相の変化に起因するコントラストによる画像情報が含まれている。被写体とフィルムが近いZ=0.1mにおける画像は、主にX線吸収効果により生じており、この位置で撮影した画像では亀裂（微小骨折）を捉えることができなかった。図14は同じ試料をX線焦点サイズ0.1mmの医療用X線管で撮影したX線吸収効果による画像を示す。管電圧は45kV、露光量は約1000mA・sである。X線増感紙は用いていない。ここでも微小骨折像は捉えることができなかった。

【0041】図12と図14の画像を比較すると、放射光X線を用いた位相の変化に起因する画像（図12）にのみ微小骨折（矢印部分）が写っていることが分かる。微小骨折のようにX線吸収差の小さな部位はX線位相の変化に基づくコントラストでなければ描写できない。X線管に比べて単色で干渉性の高い放射光X線の方が、位相コントラストの描写には有利である。

【0042】骨表面を金属顕微鏡で観察した結果、微小骨折の発生様式（走行状態）には、少なくとも2種類あることが確認できた。これを骨断面を模式的に描いた図で説明する。図15は、①：亀裂幅が数 μm ～数10 μm 程度の開口構造型の微小骨折である。また、図16は、②：明瞭な開口部を示さない、骨組織の変位による界面ずれ構造型の微小骨折である。

【0043】①において生じた位相コントラストは、図15に示したX線に対して半透明な単スリット（位相物質のスリット）模型で説明できる。この表式における画像コントラストはフレネル積分関数で表され、試料とX線フィルムの距離の違いにおける画像コントラストの変化を説明することができる。生ずるX線位相差は、

$$= 2 (n) L /$$

で表される。上式において、nは、該単スリットの開口部と非開口部の屈折率の差、Lはスリットの厚さ、 λ はX線の波長である。ここに、 $n \sim 0.4 \times 10^{-6}$ 、 $\lambda = 4.1 \times 10^{-11} \text{ m}$ 、 $L \sim 50 \mu\text{m}$ とすれば、計算による位相差は、およそ（rad）である。微小骨折像の線幅は約20 μm である。計算による像の全線幅 $W \sim 2d$ で与えられる。ここに、全線幅Wとは、バッググランド濃度を除く位相コントラストのみにおける1/10値幅、つまり位相コントラストのみを考慮したときの最大強度に対して1/10の強度を与える線プロファイル（図17）上の2点間の距離を指す。dは、該単スリットの開口幅である。線の形（プロファイル）は、 $d=7.5\mu\text{m}$ とした場合の計算結果との一致が良い。X線フィルムの分解能が約5 μm であることを考慮すると、開口幅とX線フィル

ム分解能のたたみこみから生じる実測の線幅についても合理性がある。②において生じた位相コントラストは、図16に示したX線に対して半透明な片スリット模型で説明できる。

【0044】放射光X線による位相差画像の骨微細構造（骨梁）描写は、X線管による撮像に比べてはるかに優れている。これは、X線の屈折による辺縁部の強調現象（エッジ効果）である。図14に示すように、エッジ効果は焦点サイズが0.1mmのX線管では顕著に現れない。微小骨折部の描写能力は、干渉性の高い放射光X線に比べてずっと低い。骨折撮影の臨床試験に進むに当たり、照射野サイズとして15cm×20cm程度が必要である。これについては非対称反射結晶を利用した照射野拡大の技術を用いれば良い。放射光X線は、X線出力が大きく、短時間撮影に向いている。つまり、被写体の動きに起因する画像ブレを抑制するのに役立つ。これは微小骨折のような小さな被写体の撮影には非常に有利な条件である。

【0045】次に動物の足部の微小骨折を撮影する微小病変のX線撮影システムについて説明する。尚、本実施例は馬で代表される四肢動物の足部撮影に応用した微小病変のX線撮影システムである。図18は動物用の微小病変のX線撮影システムの概念を示す全体斜視図、図19は撮影部の側面図、図20は撮影台の駆動部を含む撮影装置の正面図である。

【0046】撮影台100は、回転可能に軸支された回転テーブル101を備えており、回転テーブル101はモータ102の駆動力を変速部103により変速し軸104に伝えられ回転する。動物108を誘導するU字形の柵112が垂直に設けられている。柵112は、天井113に設置された回転機構114により必要に応じて回転軸114Aを中心に回転させることができる。

【0047】設置台105には、X-Zレール106が配備されており、このX-Zレール106は撮影台100を挟んでX線放射部110とは反対側に設置され、X線の照射方向に敷設されたXレール106Aと、Xレール106A上を移動可能でX線の照射方向に直交する方向に敷設されたZレール106Bから構成されている。画像記録媒体107は、Zレール106B上を走行する。画像記録媒体107と撮影台100との間に、画像記録媒体107を除く上部を動物から見えないように遮蔽する遮蔽体111が配置されている。これは、動物の恐怖心をあおらないための措置である。

【0048】本実施例の作用を説明する。動物108を撮影台100に載せ、足部の撮影部位に正しくX線が照射されるよう回転テーブル101を回転させて動物108の向きを調節する。撮影部位に画像記録媒体107を移動させてセットし、X線を照射して撮影する。

【0049】本発明の実施例には、次の効果が期待される。即ち、

①平行性（干渉性）の高い（強い）X線を用いることで短時間撮影が可能となり、骨を始めとして、その表面や内部に生じた微小なキズ等の疾患における診断に役立つ。

②非侵襲的手法により得られる診断画像として、従来法では描画できない微小病変等の像を高い画像コントラストで描画できるので、患者により適切な診断、治療方針の決定、並びに病後管理を行えるようになると共に、人や動物を対象にした、X線撮影装置の開発に寄与できる。

【0050】本発明の応用としては、位相画像法における造影検査法への実施ができる。物質元素の違い（原子番号の違い）から生じる位相の変化を画像にすることができる。血管内、体内に適切な薬品を注入することで、位相の変化に起因するコントラストをより高めることができる。薬品の併用により微小病変やX線吸収差の少ない組織の画像コントラストを強調することで、より多くの診断情報を提供する造影検査法を実施できる。

【0051】

【発明の効果】本発明の微小病変のX線撮影システムによれば、平行性の高いX線を骨のキズ（例えば、微小骨折などの微細な割れ目）などに照射すると割れ目等、位相の変化を生じる部位によるX線の回折等の効果により画像が形成され、微小病変等をX線位相の変化に画像として描出できる。また、競技選手や事故の被害者等の打撲症等、大小の骨折を伴う恐れのある疾患において、より適切な診断、治療方針の決定、並びに疾患管理指導ができる。また、骨質の変化に対しても感度が高いことから、骨粗鬆症の早期診断法として撮影法が実施できる。また、癌病変における石灰化病巣も位相被写体であり、病巣の新しい検出法としての応用撮影が実施できる。更に、動物の四肢撮影に適用すれば、運動中の大骨折に至る前、微小骨折のうちに病巣を発見できる。特に、競争馬等の健康管理において有益となる。また、本発明のX線光学装置によれば、上記以外の利用形態として、各種分野における金属、非金属、半導体、高分子等の材料の評価に用いることができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明に係る微小病変のX線撮影システムの実施形態を示す模式図である。

【図2】本発明に係る微小病変のX線撮影システムにおける撮影部の他の実施形態を示す側面図である。

【図3】図2の上面図である。

【図4】本発明に係る微小病変のX線撮影システムにおける画像記録部の他の実施形態を示す側面図である。

【図5】本発明に係る微小病変のX線撮影システムにおける被写体固定部の斜視図である。

【図6】本発明に係る微小病変のX線撮影システムに用いられるX線光学系の上面から見た模式図である。

【図7】図6のX線光学系を側面から見た模式図である。

【図8】非対称型シリコン単結晶板の原子面に対してある角度でX線を入射させたとき出射されるX線を示す図である。

【図9】X線が対称反射の場合を示す図である。

【図10】X線が非対称反射の場合を示す図である。

10 【図11】本発明に係る微小病変のX線撮影システムに用いられるX線光学系の他の実施形態を示す説明図である。

【図12】本発明に係る微小病変のX線撮影システムによる撮影画像の一例を示す図である。

【図13】図12に示す撮影画像の微小骨折部位をスケッチした図である。

【図14】図12における被写体と同じものを医療用X線管により撮影した画像を示す図である。

20 【図15】亀裂幅が数 μm ～数10 μm 程度の開口構造型の微小骨折のモデル図である。

【図16】明瞭な開口部を示さない、骨組織の変位による界面構造型の微小骨折のモデル図である。

【図17】微小骨折像の線幅の線プロファイルを示す図である。

【図18】本発明に係る動物用の微小病変のX線撮影システム概念を示す全体斜視図である。

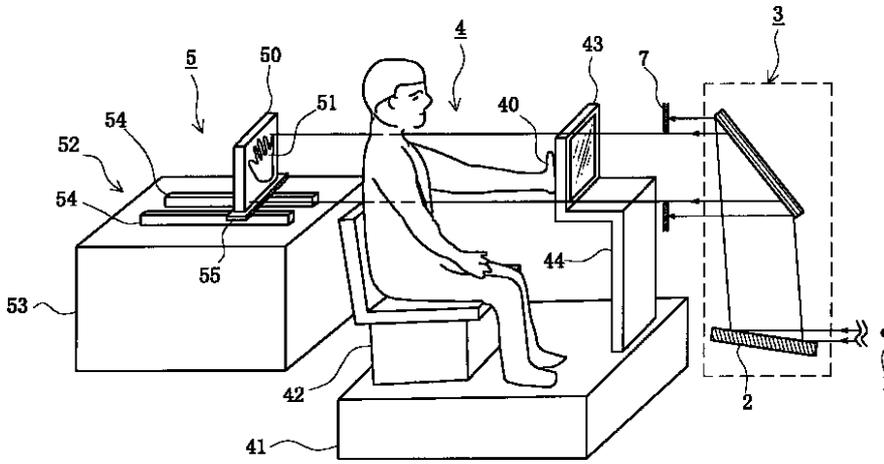
【図19】本発明に係る動物用の微小病変のX線撮影システムにおける撮影部の側面図である。

30 【図20】本発明に係る動物用の微小病変のX線撮影システムにおける撮影部の駆動部を含む撮影装置の正面図である。

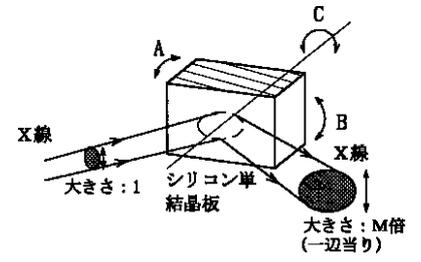
【符号の簡単な説明】

- | | |
|----|------------------|
| 1 | X線源 |
| 2 | シリコン単結晶板（X線光学素子） |
| 3 | X線光学系 |
| 4 | 撮影部 |
| 5 | 画像記録部 |
| 7 | X線スリット |
| 40 | 被写体 |
| 41 | 撮影台 |
| 43 | 被写体固定部 |
| 47 | 回転テーブル |
| 50 | 画像記録媒体 |
| 51 | 撮影画像 |
| 52 | 記録媒体移動手段 |
| 80 | 昇降装置 |
| 90 | 回転装置 |

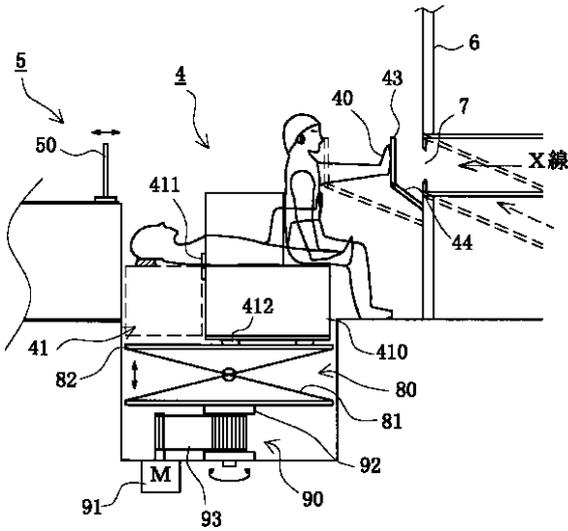
【図1】



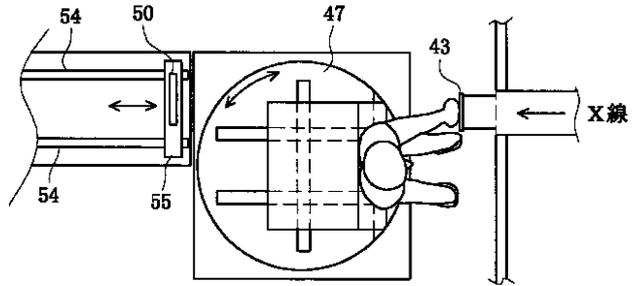
【図8】



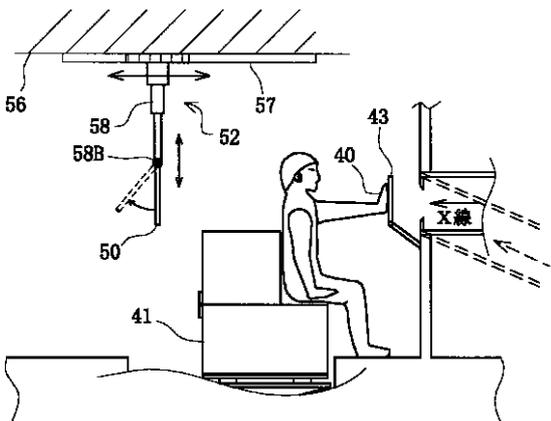
【図2】



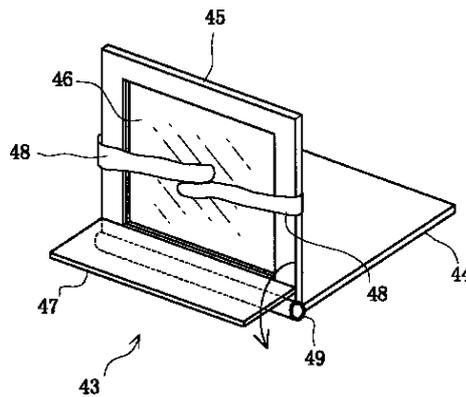
【図3】



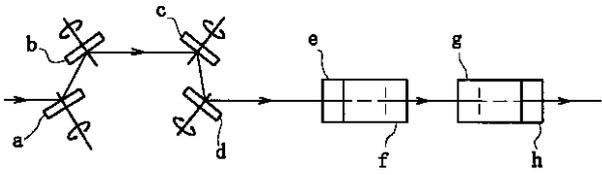
【図4】



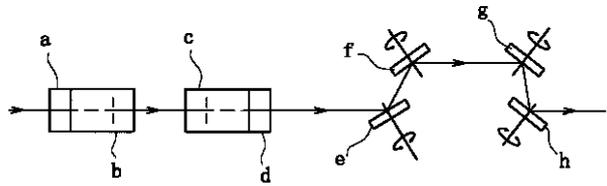
【図5】



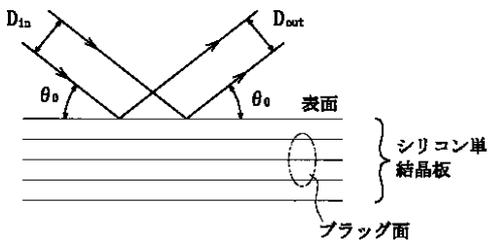
【図6】



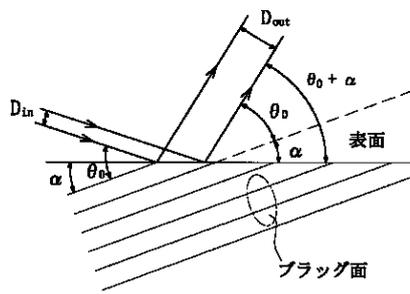
【図7】



【図9】

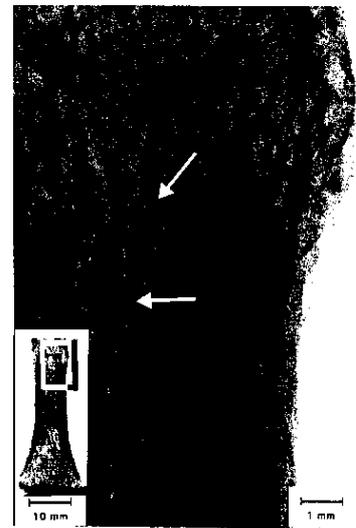


【図10】



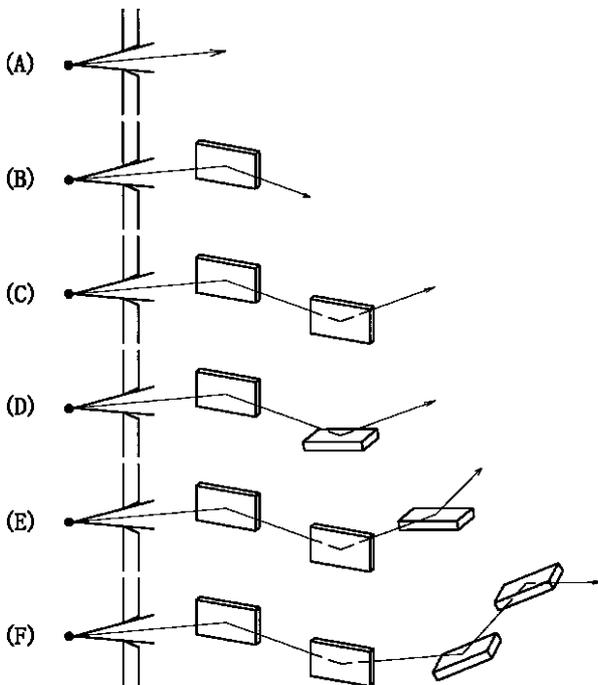
$$b = \frac{\sin(\theta_0 - \alpha)}{\sin(\theta_0 + \alpha)}$$

【図12】

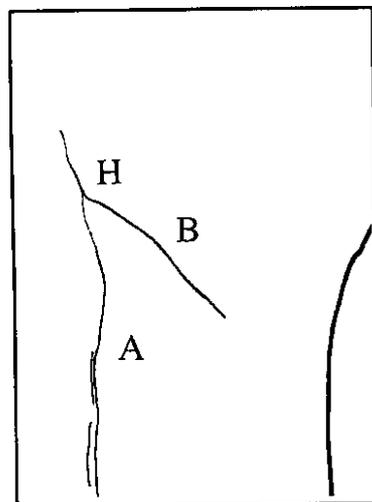


➡ は、打撃点
 ⇨ は、微小骨折線

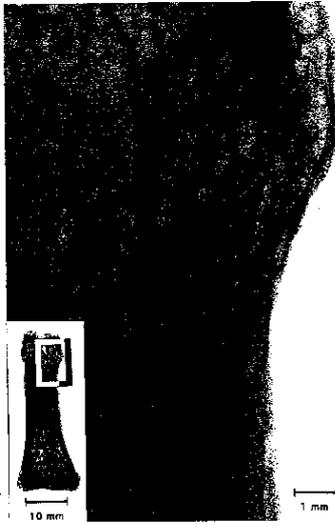
【図11】



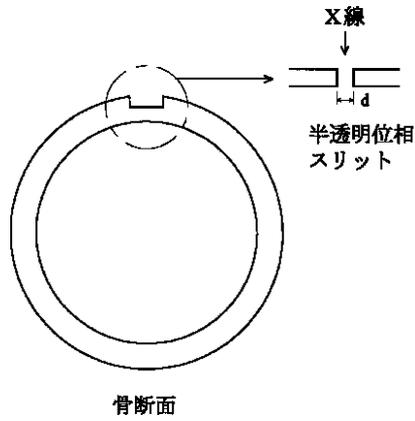
【図13】



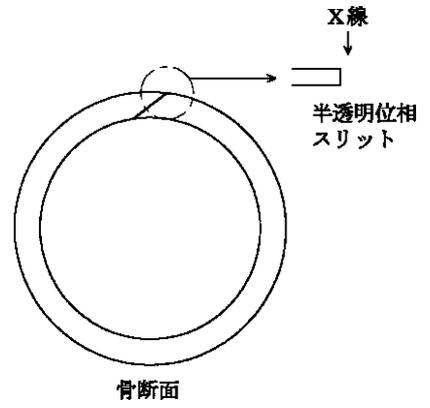
【図14】



【図15】

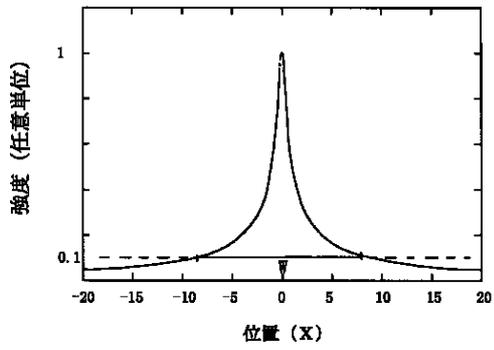


【図16】

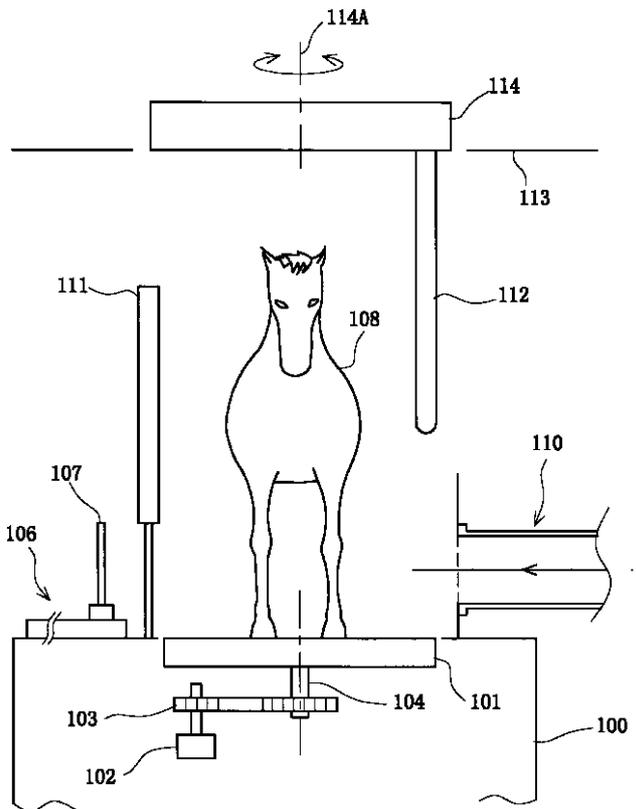


【図17】

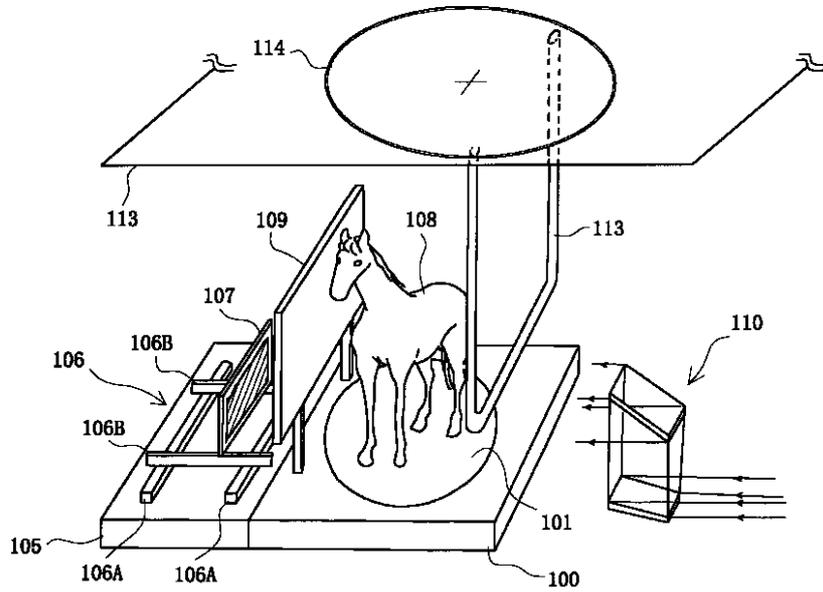
全線幅: 1/10値幅の定義



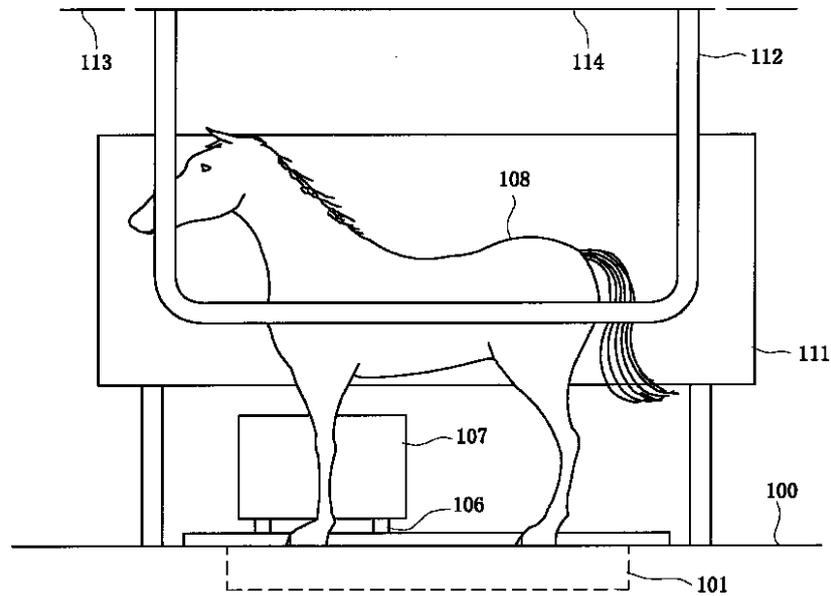
【図20】



【図18】



【図19】



フロントページの続き

(72)発明者 兵藤 一行
 茨城県つくば市並木2 - 205 - 205

(72)発明者 張 小威
 茨城県つくば市吾妻4 - 202 - 301

(72)発明者 杉山 弘
 茨城県つくば市吾妻2 - 807 - 309

Fターム(参考) 2H013 AA21 AA30
 4C093 AA30 CA04 DA10 EA20 EB02
 EB04 EC29 EC34 ED06 ED07
 FA16 FA43