(19)日本国特許庁(JP)　(12)特　許　公　報(B2)　(11)特許番号
特許第3627066号
(P3627066)
(45)発行日　平成17年3月9日(2005.3.9)　(24)登録日　平成16年12月17日(2004.12.17)

(51)Int.Cl.[7]　F I
G06T 15/00　G06T 15/00　200
G06T 3/00　G06T 3/00　200

請求項の数 2　(全 38 頁)

(21)出願番号　特願平7-48207
(22)出願日　平成7年3月8日(1995.3.8)
(65)公開番号　特開平8-249492
(43)公開日　平成8年9月27日(1996.9.27)
審査請求日　平成13年9月28日(2001.9.28)

(73)特許権者　000153498
株式会社日立メディコ
東京都千代田区内神田１丁目１番１４号
(74)代理人　100066979
弁理士　鵜沼　辰之
(72)発明者　佐藤　一弘
東京都千代田区内神田一丁目１番１４号
株式会社　日立メディコ内
(72)発明者　後藤　艮洋
東京都千代田区内神田一丁目１番１４号
株式会社　日立メディコ内

審査官　伊知地　和之

最終頁に続く

(54)【発明の名称】パノラマ投影方法およびパノラマ投影装置

(57)【特許請求の範囲】
【請求項１】
任意の曲線上に連続的に分布する各視点から当該視点における接線と直交する平面内に放射状に光線を照射し、
前記接線を軸とする短い円柱投影面に投影対象を直接投影し、
前記短い円柱投影面を多数接続し前記曲線に沿った投影像を作成し、
その投影結果を投影平面に展開してパノラマ表示する曲線パノラマ投影方法。
【請求項２】
任意の曲線を設定する手段と、
前記任意の曲線上に連続的に分布する各視点から当該視点における接線と直交する平面内に放射状に光線を照射し前記接線を軸とする短い円柱投影面に投影対象を直接投影する手段と、
前記短い円柱投影面を多数接続し前記曲線に沿った投影像を作成する手段と、
その投影結果を投影平面に展開する手段と、
前記投影平面に展開された投影結果をパノラマ表示する表示手段とを含む曲線パノラマ投影装置。
【発明の詳細な説明】
【０００１】
【産業上の利用分野】
本発明は、コンピュータグラフィクスのパノラマ投影方法に係り、特に、中心投影方法に

おける画像の歪みを改善して広い視野を確保する手段に関する。
【０００２】
【従来の技術】
中心投影方法は、図４５に示すように、視点ｅから放射状に光線を照射し、投影対象を投影平面上に投影し、画像を得る方法である。この中心投影方法は、例えば体内の断層像２３の画像４０ａ，４０ｂを投影平面４上に投影し、投影像４０Ａ，４０Ｂを得ることに応用され、断層像の三次元画像を構成するために用いられる。
【０００３】
平行投影方法は、図４６に示すように、平行光線を照射し、投影対象を投影面上に投影し、画像を得る方法である。この平行投影方法も、体内の断層像２３の画像４０ａ，４０ｂを投影平面４上に投影し、投影像４０Ａ，４０Ｂを得ることに応用され、断層像の三次元画像を構成するために用いられる。
【０００４】
一般に、体内に視点を持ち込み、血管内壁，食道内壁，腸，気管支等の器官内の微小部分を投影し、三次元表示する場合には、視点を投影対象器官の内部に入れ、内部から周りを見る中心投影方法が適している。
【０００５】
一方、骨，皮膚，体表面などを外部から観察する場合には、外部形状を直感的に理解できる平行投影方法が適している。
【０００６】
一般的に、従来の中心投影方法における投影面および平行投影方法における投影面は、コンピュータグラフィクスに関する代表的な文献である「コンピュータグラフィクス」（Ｊ．Ｄ．Ｆｏｌｅｙ　＆　Ａ．Ｖａｎ　Ｄａｍ著）今宮淳美訳（昭和５９年７月１５日　日本コンピュータ協会発行）にも示されているように、平面であった。
【０００７】
中心投影方法を用いて物体を投影平面４に投影する場合、投影平面４の中心から周辺にいくに従って投影像が拡大され、投影平面４の中心５０から急激に外側に離れていく。したがって、中心５０付近の画像と比較して、投影平面４の中心から周辺にいくに従って画像のひずみが大きくなる。この傾向は、視点ｅと投影対象との距離ｒが近いほど、顕著になる。
【０００８】
図４７において、視点ｅから投影面４までの距離をＲ，視点ｅから断層像における投影対象までの距離をｒ，投影中心から円周方向への距離をｌ（一定）とすると、投影面上における距離Ｈは、
Ｈ＝Ｒ・ｌ／ｒ
となる。投影対象までの距離ｒが小さくなると、投影面上における距離Ｈは急激に大きくなり、投影面上の中心５０から遠ざかる。例えばＣＲＴの画面上に表示する場合、表示領域が有限なので、投影面上における距離Ｈを決めると、視点ｅから投影面４までの距離Ｒに応じて、投影可能な領域が決まる。視点ｅから左右１８０度の幅を投影するには、Ｒ＝０としなければならず、非常に狭い部分しか投影できない。
【０００９】
一方、平行投影においては、画像のひずみが少ないが、図４８に示すように、食道や腸の内部などのように内部に複雑な凹凸がある場合、投影対象同士が重なり、見えない部分が多くなる欠点があった。
【００１０】
【発明が解決しようとする課題】
三次元表示は、血管，食道などの管状の対象物に用いられることがある。このような対象物では、これら管状の対象物の内部に入り込み、左右１８０度以上の広い範囲の管壁が見えるように、パノラマ状の視界を与える三次元表示が必要である。
【００１１】

さらに、血管，腸などは曲がりくねっているので、この管に沿って展開した三次元画像を作成する必要がある。

【００１２】

本発明の第１の目的は、ゆがみが少なくパノラマ状の広い視野が得られる直線パノラマ投影方法および直線パノラマ投影装置を提供することである。

【００１３】

本発明の第２の目的は、曲がった管状の投影対象について投影対象同士の重なりをできるだけ避けながら、ゆがみが少なくパノラマ状の広い視野が得られる曲線パノラマ投影方法および曲線パノラマ投影装置を提供することである。

【００１４】

本発明の第３の目的は、直線上に分布した視点と任意曲面とを用いて、ゆがみが少なくパノラマ状の広い視野が得られる任意曲面パノラマ投影方法および任意曲面パノラマ投影装置を提供することである。

【００１５】

【課題を解決するための手段】

本発明は、上記第１の目的を達成するために、直線上に連続的に分布する各視点から前記直線と直交する平面内に放射状に光線を照射し、前記直線を軸とする円柱投影面に投影対象を直接投影し、その投影結果を投影平面に展開してパノラマ表示する直線パノラマ投影方法を提案する。

【００１６】

本発明は、また、直線を設定する手段と、前記直線を軸とする円柱投影面を設定する手段と、前記直線上に連続的に分布する各視点から前記直線と直交する平面内に放射状に光線を照射し前記円柱投影面に投影対象を直接投影する手段と、その投影結果を投影平面に展開する手段と、前記投影平面に展開された投影結果をパノラマ表示する表示手段とを含む直線パノラマ投影装置を提案する。

【００１７】

前記直線パノラマ投影方法および直線パノラマ投影装置においては、前記投影対象の少なくとも一部が、前記視点と前記円柱投影面との間に存在することができる。

【００１８】

上記いずれの直線パノラマ投影方法においても、前記円柱投影面の半径を、前記視点から前記投影平面までの距離に等しくしてもよいし、前記視点から前記投影平面までの距離よりも短くしてもよいし、前記視点から前記投影平面までの距離よりも長くしてもよい。

【００１９】

一方、前記円柱投影面の中心角度は、０から３６０度の間の任意の角度に設定可能である。

【００２０】

前記投影対象は、入力装置から入力されたデータ，演算装置により演算された結果のデータにいずれでもよい。

【００２１】

さらに、演算装置により演算された結果のデータは、より具体的には、三次元計測によるボリューム画像を分解して得られた断層像を含む断層像、または、一般的直線投影方法を用いて構成した三次元画像とすることができる。

【００２２】

本発明は、上記第２の目的を達成するために、任意の曲線上に連続的に分布する各視点から当該視点における接線と直交する平面内に放射状に光線を照射し、前記接線を軸とする短い円柱投影面に投影対象を直接投影し、前記短い円柱投影面を多数接続し前記曲線に沿った投影像を作成し、その投影結果を投影平面に展開してパノラマ表示する曲線パノラマ投影方法を提案する。

【００２３】

本発明は、さらに、任意の曲線を設定する手段と、前記任意の曲線上に連続的に分布する

各視点から当該視点における接線と直交する平面内に放射状に光線を照射し前記接線を軸とする短い円柱投影面に投影対象を直接投影する手段と、前記短い円柱投影面を多数接続し前記曲線に沿った投影像を作成する手段と、その投影結果を投影平面に展開する手段と、前記投影平面に展開された投影結果をパノラマ表示する表示手段とを含む曲線パノラマ投影装置を提案する。

【００２４】

前記曲線パノラマ投影方法および任意曲面パノラマ投影装置においては、前記投影対象の少なくとも一部が、前記視点と前記円柱投影面との間に存在することができる。

【００２５】

いずれの曲線パノラマ投影方法においても、前記円柱投影面の半径を、前記視点から前記投影平面までの距離に等しくしてもよいし、前記視点から前記投影平面までの距離よりも短くしてもよいし、前記視点から前記投影平面までの距離よりも長くしてもよい。

【００２６】

一方、前記円柱投影面の角度は、０から３６０度の間の任意の角度に設定できる。

【００２７】

前記投影対象は、入力装置により入力されたデータ、または、演算装置により演算された結果のデータのいずれでもよい。

【００２８】

さらに、前記演算装置により演算された結果のデータは、より具体的には、三次元計測によるボリューム画像を分解して得られた断層像を含む断層像である。

【００２９】

本発明は、上記第３の目的を達成するために、直線上に連続的に分布する各視点から前記直線と直交する平面内に放射状に光線を照射し、任意曲面に投影対象を直接投影し、その投影結果を投影平面に展開してパノラマ表示する任意曲面パノラマ投影方法を提案する。

【００３０】

本発明は、直線および任意曲面を設定する手段と、前記直線上に連続的に分布する各視点から前記直線と直交する平面内に放射状に光線を照射し前記任意曲面に投影対象を直接投影する手段と、その投影結果を投影平面に展開する手段と、前記投影平面に展開された投影結果をパノラマ表示する表示手段とを含む任意曲面パノラマ投影装置を提案する。

【００３１】

前記任意曲面パノラマ投影方法および任意曲面パノラマ投影装置においては、投影対象の少なくとも一部が、前記視点と前記任意曲面との間に存在することができる。

【００３２】

いずれのパノラマ投影方法においても、前記投影面の断面が、平面以外の任意の曲線であり、前記投影面の断面が、視点の位置に応じて変化するようにしてもよく、前記投影面の断面を、投影対象の形状および投影対象の観察の目的に応じて変化させてもよい。

【００３３】

前記投影対象は、入力装置から入力されたデータ、または、演算装置により演算した結果のデータのいずれでもよく、演算装置により演算した結果のデータは、より具体的には、三次元計測によるボリューム画像を分解して得られた断層像を含む断層像であり、一般的直線投影方法を用いて構成した三次元画像である。

【００３４】

【作用】

図３７および３８は、本発明による直線パノラマ投影方法の原理を説明する図である。投影面は、紙面に垂直な直線を中心軸７とする円柱投影面２１となっている。視点は、円柱投影面２１の中心軸７に連続的に分布し、投影対象５を円柱投影面２１に投影する。

【００３５】

図３７においては、視点を囲む曲面の中心角度は、ちょうど１８０度になっているが、中心角度は任意である。円柱投影面２１に投影された三次元画像は、円柱投影面２１を領域１２～１３にパノラマ投影して平面４に変換される。

【００３６】
図３８においては、視点を囲む曲面の中心角度は、１８０度よりも大きく、端点１０，１１は、図３７の曲面のそれらよりも近づいている。この場合も、図３７の場合と同様に、端点１０，１１間の曲面に投影された三次元画像が、パノラマ投影により、平面４に変換される。
【００３７】
視点すなわち中心軸７を全て囲むと、端点１０と１１とは一致する。その場合、円柱投影面２１は、全円周となる。したがって、血管，腸，食道などの投影対象を切り開いて見ているようなパノラマ三次元画像が得られる。
【００３８】
円柱投影面２１上の画像から２次投影平面４に変換された画像は、そのままでＣＲＴ画面上の座標に対応させられる。このように２次投影平面４に変換された画像をＣＲＴ画面上の座標に対応させると、従来は投影方向に依存して横方向に生じていたゆがみが補正され、パノラマ状の広い視野を持つ三次元画像を与えるパノラマ投影方法が得られる。
【００３９】
図３９～４２は、本発明による曲線パノラマ投影方法の原理を説明する図である。
【００４０】
図３９は、曲線パノラマ投影方法の全体の概要を示す図である。図３９の曲線パノラマ投影方法においては、まず、被投影物体２３に対して、視点ｅが連続的に分布する任意の曲線Ｃを引く。より具体的には、管状の投影物体２３の中に視点が分布する任意の曲線Ｃを引く。曲線Ｃを引くには、中心投影方法により管の中を探索していくときの軌跡を記録しておき、その軌跡を採用することができる。また、マウス，トラックボールなどのポインティングデバイスで、各断層像についてオペレータが指定してもよい。さらに、管状の投影物体２３を演算装置に自動判別させてトレースさせる方法も利用できる。
【００４１】
次に、与えられた曲線Ｃ上の任意の視点ｅにおいて、曲線Ｃに接線Ｖを引く。接線Ｖは、視点ｅが曲線Ｃ上を移動するにつれて、三次元空間における勾配が変化する。この視点ｅの各位置における接線Ｖを中心軸とする長さδＶの短い円柱を考える。次に視点ｅを通り、接線Ｖに直交する平面Ｂを考え、前記円柱の曲面を円柱投影面２１として、上記第１発明と同様に、その円柱投影面２１に平面Ｂ内の物体の各点を投影する。
【００４２】
視点ｅから円柱投影面２１の中央に垂線ｈを引く。垂線ｈは接線Ｖと直交する。この直線ｈと円柱投影面２１との交点をｇとし、交点ｇを含み垂線ｈに直交する平面をＴとする。平面Ｔは２次投影平面４である。この短い円柱投影面２１と投影平面４とを、曲線Ｃ上の各視点ｅで作成していくと、曲線Ｃ上の決められた長さの範囲内の物体の投影像を作成できる。
【００４３】
図４０および４１は、図３９における任意の平面Ｂ上の１次投影曲面２１と、２次投影平面４と、投影対象５と、曲線Ｃ上の視点ｅにおける接線Ｖとの関係を示す図である。１次投影曲面は、紙面に垂直で接線Ｖを中心軸とする円柱投影面２１になっている。視点は、円柱投影面２１の中心軸７に連続的に分布し、投影物体５を円柱投影面２１に投影する。
【００４４】
図４０においては、視点を囲む曲面の中心角度は、ちょうど１８０度になっているが、中心角度は任意である。円柱投影面２１に投影された三次元画像は、円柱投影面２１を領域１２～１３にパノラマ投影して平面４に変換される。
【００４５】
視点すなわち中心軸７を全て囲むと、端点１０と１１とは一致する。その場合、円柱投影面２１は、全円周となる。したがって、血管，腸，食道などの投影物体を切り開いて見ているようなパノラマ三次元画像が得られる。
【００４６】

円柱投影面２１上の画像から２次投影平面４に変換された画像は、そのままでＣＲＴ画面上の座標に対応させられる。このように２次投影平面４に変換された画像をＣＲＴ画面上の座標に対応させると、従来は投影方向に依存して横方向に生じていたゆがみが補正され、パノラマ状の広い視野を持つ三次元画像を与えるパノラマ投影方法が得られる。

【００４７】

図４１においては、視点を囲む曲面の中心角度は、１８０度よりも大きく、端点１０，１１は、図４０の曲面のそれらよりも近づいている。この場合も、図４０の場合と同様に、端点１０，１１間の曲面に投影された三次元画像が、パノラマ投影により、平面４に変換される。

【００４８】

視点すなわち中心軸７を全て囲むと、端点１０と１１とは一致する。その場合、円柱投影面２１は、全円周となる。したがって、血管，腸，食道などの投影物体を切り開いて見ているようなパノラマ三次元画像が得られる。

【００４９】

円柱投影面２１上の画像から２次投影平面４に展開された画像は、そのままでＣＲＴ画面上の座標に対応させる。このように２次投影平面４に変換された画像をＣＲＴ画面上の座標に対応させると、従来は投影方向に依存して横方向に生じていたゆがみが補正され、パノラマ状の広い視野を持つ三次元画像を与えるパノラマ投影方法が得られる。

【００５０】

図４２は曲線Ｃに沿って視点ｅと各視点における接線とこの接線を中心軸とする複数の短い円柱投影面２１との配置を示す図である。説明のしやすさと見やすさを優先させるために、各々の短円柱投影面２１の間は広く開いているが、実際には、３０～３２の部分に示すように、各々の短い円柱投影面２１が密に重なるように、円柱投影面２１を配置する。

【００５１】

円柱投影面２１は、完全な円柱の場合は、接線Ｖを囲む中心角度が３６０度となるが、３６０未満の角度にも設定可能である。接線Ｖを囲む中心角度が３６０度の場合は、管状の投影物体を曲線Ｃに沿って切り開き展開したようなパノラマ投影像が得られる。

【００５２】

投影方向の中心は、オペレータが任意に設定できる。投影方向の中心は、各円柱投影面に個別に決めることも、共通に決めることも可能である。投影方向の中心を個別に決める場合は、オペレータが各円柱投影面毎に方向を決める必要がある。投影方向の中心を共通に決める場合は、例えばマウスやトラックボールなどのポインティングデバイスで方向を与え、円柱投影面全体にその方向を適用すればよい。

【００５３】

このようにして得られる個々の円柱投影像を、図４０，４１に示すように、曲線パノラマ展開により展開し、直線に沿って並べ変え、平面上に表示する。

【００５４】

図４３および図４４は、本発明による任意曲面へのパノラマ投影を説明する図である。投影面２１は視線Ｅに平行であり、平面を含む任意の形とする。光源は、視線Ｅに連続的に分布し、投影対象５を、投影面２１に投影する。図４３では、投影面は平面であり、投影計算後に投影像に対して陰影変換を施してＣＲＴに表示すればよい。図４４では投影面が曲面であり、しかも視線Ｅの位置に対して連続的に変化している。投影対象は投影面２１に投影される。この１次投影像をＣＲＴに表示するには、投影面２１の像を平面に写像する必要がある。この写像の方法には、ある一定の位置（直線η）からの曲面に沿った距離を用いる方法や、ηの各点において投影曲面２１に接する平面η’を仮定し、η’に垂直に射影する方法等がある。

【００５５】

投影面として平面を用いる利点は、曲面投影面から平面への射影計算が不要なため、計算が簡単となること、平面的に広がりのある部位の立体像を見たいときに有効なことである。

【００５６】
一方、曲面を用いると曲面からの射影計算が必要であるが、球状や管状の投影対象に対して広い視野の立体像が得られる利点がある。また、投影対象の形状に対して投影面を連続的に変えると、複雑な形状の物体でも見やすい立体像が得られる場合がある。この線状光源を用いると、線状光源に沿って連続的に投影像を計算していくことができるため、中心投影に比べてより広い視野の立体像が得られる。
【００５７】
【実施例】
図１ないし図３６を参照して、本発明によるパノラマ投影方法の実施例を説明する。
【００５８】
《直線パノラマ投影方法》
図１は、本発明による直線パノラマ投影方法の一実施例の手順を示すフローチャートである。図２は、図１の直線パノラマ投影方法を実行するためのハードウェアの構成の一例を示すブロック図である。
【００５９】
図２において、ＣＰＵ５０と、主メモリ５１と、磁気ディスク５２と、表示メモリ５３と、マウスコントローラ５５とは、共通バス５７で相互に接続されている。磁気ディスク５２には、複数の断層像および本実施例の直線パノラマ投影方法を実行するためのプログラムなどが格納されている。
【００６０】
ＣＰＵ５０は、複数の断層像および直線パノラマ投影方法を実行するためのプログラムを磁気ディスク５２から読み出し、主メモリ５１を用いてパノラマ変換等の演算を実行し、その結果を表示メモリ５３に送り、ＣＲＴモニタ５４に表示させる。マウスコントローラ５５に接続されたマウス５６は、パノラマ変換等の演算の際に始点位置などを指定するために用いられる。パノラマ変換された画像は、必要に応じて磁気ディスク５２に格納される。
【００６１】
ステップ１０１：図１に示すように、本実施例の直線パノラマ投影方法においては、まず直線投影法により、投影対象を円柱投影面に投影する。すなわち、直線上に連続的に分布する視点からこの直線と直交する平面内に光線を照射し、投影対象を円柱投影面に投影する。
ステップ１０２：円柱投影面の像を、２次投影平面に座標変換し、パノラマ投影像を得る。必要に応じて、パノラマ投影像をＣＲＴモニタ５４の座標に画像変換し、表示する。
【００６２】
本実施例において、パノラマ変換とは、投影対象を円柱投影曲面に投影し、この円柱投影面を２次投影平面に展開し、投影対象を２次投影平面に投影する処理をいう。すなわち、直線パノラマ投影方法においては、円柱投影面を投影面として投影対象を直線投影し、その円柱投影面を平面に展開する。この場合、投影面である半円柱投影面に沿った各点のアドレスが、ＣＲＴの表示画素のアドレスに対応する。パノラマ画像は、例えばＣＲＴモニタ５４の画面上に表示される。
【００６３】
次に、図３～図７を参照して、直線パノラマ変換の原理を説明する。
図３は、直線パノラマ投影方法において、視直線が中心軸と一致する円柱投影面の投影像を直線パノラマ変換により平面に展開し、ゆがみを少なくしながら広視野化する原理を説明する図である。図３において、円柱投影面２１は、視点ｅが連続的に分布する視直線ＶとＺ軸との交点Ｏ’を中心とし、視直線Ｖを中心軸とする半径Ｒの円柱投影面である。ここでは、交点Ｏ’を通りｘ－ｙ平面に平行な面により円柱投影面２１を２分割して得られる２つの半円柱投影面Ⅰ，ⅠⅠのうちで、原点Ｏに近い方の半円柱投影面Ⅰが示されている。２次投影平面４は、円柱投影面２１の投影像をパノラマ変換して投影すべき投影平面である。投影平面４は、ＣＲＴモニタの表示画面に相当する。なお、円柱投影面２１の半

径Ｒは、図３の例においては、視直線Ｖと投影平面４との距離でもある。

【００６４】

三次元座標系の原点ＯからＸ軸方向に$Ｘ_1$の距離にある投影対象が、直線投影法により、円柱投影面２１の点Ｑに投影されたと仮定する。Ｑの位置は、視直線Ｖから照射された光線による円柱投影面２１上の点（$ｘ_1$，θ）として表現してもよい。θは、Ｑ点と視直線Ｖを結ぶ線とｚ軸とのなす角度である。

【００６５】

点Ｑを２次投影平面４に座標変換すると、２次投影平面４上のＰ点（$η_1$，$ξ_1$）に変換される。その際、円柱投影面２１上の点Ｏ”から点Ｑまでの円弧すなわち投影曲面２１上の円弧ＯＱ’Ｌは、２次投影平面４上で同じ長さを持つ点Ｏ”から点Ｐまでの線分Ｌ’に変換される。Ｐ点の座標のうち、$η_1$はＰ点に対応するＣＲＴ上のＸ座標、$ξ_1$はＰ点に対応するＣＲＴ上のＹ座標と解釈してもよい。

【００６６】

図４は、図３の原理において、円柱投影面の中心角が１８０度である場合の直線パノラマ変換を説明する図である。図３において、ｘ＝０におけるｙ－ｚ平面に着目すると、図４のように表示できる。図４において、視直線Ｖに直交する平面すなわち任意のｙ－ｚ平面は、互いに独立していると考え、各々のｙ－ｚ平面内でパノラマ計算を実行する。

【００６７】

ｘ＝０におけるｙ－ｚ平面に着目し、半円弧Ｉの１８０度の範囲を等角度に分割し、その分割された画素をＣＲＴモニタ５４の画面の横軸方向すなわちＸ軸方向の表示画素に対応させる。半円弧Ｉの円周を等間隔に分割し、表示画素に対応させると考えてもよい。

【００６８】

図５は、図３の原理において、円柱投影面の中心角が１８０度よりも大きい場合の直線パノラマ変換を説明する図である。この場合も、パノラマ変換の方式は図４の場合と変わらない。

【００６９】

図４において、Ｑ点と視点ｅを結ぶ線とｚ軸とのなす角度をθ，１画素あたりの角度をｄθ，視直線Ｖから半円弧全体を見込む角度を、ＣＲＴ上の横軸すなわちＸ軸方向の表示画素数をＮ，任意位置を表す画素数をｎとすると、次の式が成り立つ。ただし、角度ｄθ，θ，Θは、ラジアン単位で表現する。なお、Ｘ軸方向の表示画素数Ｎは、例えば５１２または１０２４等になる。

$dθ = Θ / N = π / N$

$L' = L$

$ξ_1 = OQ_1 = L = R \cdot n \cdot dθ = π \cdot n \cdot R / N$

$η_1 = x_1$

ここでＯＡ＝π・Ｒ／２，ＯＡの２倍の長さの範囲をＣＲＴ画面の横軸すなわちＸ軸の表示の長さに対応させる。縦軸すなわちＹ軸は、ＣＲＴ画面の画素数により決める。

【００７０】

図６は、直線パノラマ投影方法において、視直線が外側にある円柱投影面の投影像を直線パノラマ変換により平面に展開し、ゆがみを少なくしながら広視野化する原理を説明する図である。図６は、視直線Ｖと円柱投影面２１との距離が円柱の半径Ｒよりも大きい場合を示している。

【００７１】

図７は、図６の原理において、円柱投影面２１の中心角が１８０度である場合の直線パノラマ変換を説明する図である。図６において、ｘ＝０におけるｙ－ｚ平面に着目すると、図７のように表示できる。図７において、直線Ｐｅと円柱投影面２１との交点Ｑのｙ－ｚ平面上での座標は、ｙ軸上の点Ｐ’とｅを結ぶ直線とｚ軸上の原点から距離Ｒの点Ｏ’を中心とする半径Ｒの円周との交点Ｑ’となる。　図７で、視点ｅと投影平面４との距離をｈ、角度Ｑ’Ｏ’Ｏをφ，角度ｅＱ’Ｏ’をωとすると、次の式が成り立つ。

$φ = ω + θ$

Ｒ／ｓｉｎθ＝（ｈ－Ｒ）／ｓｉｎω
これら２つの式から以下のようにして、η_1，ξ_1が得られる。
$\omega = \sin^{-1}\{(h-R)\sin\theta\}/R$
$d\theta = \Theta/N$
$\theta = n \cdot d\theta = n \cdot \Theta/N$
Ｌ’＝Ｌ
ゆえに
$\xi_1 = R \cdot \phi = R(\omega+\theta)$
$\eta_1 = L$
となる。

【００７２】
このη_1，ξ_1が、表示メモリ上の画素アドレスとなる。すなわち、投影平面４の点Ｐは、ＣＲＴ画面上では点Ｐ（η_1，ξ_1）に表示され、パノラマ変換が実行されたことになる。

【００７３】
次に、図８～１１を参照して、複数の断層像から直線パノラマ投影方法により三次元画像を構成する方法を説明する。なお、いずれの場合においても、最初に円柱投影面２１上に断層像を投影し、次にパノラマ変換により、円柱投影面２１上の断層像を２次投影平面４に展開することになる。

【００７４】
まず、上記三次元画像の構成方法において、直線パノラマ投影による座標変換について述べる。直線投影による投影面への各断層像の投影に当たって、各断層像の画素座標の投影面上の座標への変換は、次のように行われる。

【００７５】
図８は、直線パノラマ投影方法により、複数の断層像から三次元画像の構成する際に、断層像の画素座標を投影面の画素座標に変換する原理を説明する図である。図８の例では、説明を簡単化するため、円柱投影面２１の中心線３１と断層像面２３と、ｘ－ｙ平面とが、それぞれ平行であるように座標系を定めている。また、円柱投影面２１の中心線３１は、ｚ軸上にある。図８において、視点ｅは、視直線Ｖ上に連続的に分布する。また、ｘ，ｙ，ｚは三次元座標系（ｘ，ｙ，ｚ）の各軸、ｅ点（d_0，０，Ｒ）は視直線Ｖ上の任意の視点ｅの位置、Ｑ点（ｘ，ｙ，ｚ）は円柱投影面２１上の点、Ｓ点（x_0，y_0，z_0）はｅ点（ｘ，０，Ｒ）とＱ点（ｘ，ｙ，ｚ）を結ぶ直線２２と断層像２３Ａの交わる点、Ｒは視点ｅのｚ座標を表す。直線２２は、ｅ点から視直線Ｖに直交するように引く。また、d_0は、断層像２３Ａのｚ軸上の位置であり、計算時に決まる。

【００７６】
図８において、各視点ｅに着目すれば、扇形の面をｚ軸方向に積み重ねたと見ることができる。したがって、扇形の面内で投影計算を実行し、それらを積み重ねると、３次元画像を表示可能である。

【００７７】
図９は、図８の原理において、断層面と投影面とが平行である場合の直線パノラマ変換を説明する図である。図９は、断層像２３Ａの他に、断層像２３Ｂ～２３Ｈを用意し、ｘ軸方向から見た状態を示している。図９において、断層像２３Ａ～２３Ｈは、同一対象物について同一方向に等間隔で得られた断層像であり、断層像２３には臓器領域Ｂ１，Ｂ２，Ｂ３，Ｂ４が強調して描いてある。この例の断層像は、等間隔であるが、必ずしも等間隔である必要はない。

【００７８】
臓器領域Ｂ１，Ｂ２，Ｂ３，Ｂ４を投影平面４に投影すると、Ｂ１’，Ｂ２’，Ｂ３’，Ｂ４’となる。ここで投影データＢ１’，Ｂ２’，Ｂ３’，Ｂ４’を図２の表示メモリ５３に書き込むときは、三次元的効果を出すために、視点ｅからみてより遠くに存在する投影データを先に書き込み、それより近くの投影データは後から上書きする。その後、陰影

付け処理を実行する。

【００７９】

図１０は、図８の原理において、断層面と投影面とが交差している場合の直線パノラマ変換の原理を説明する図である。この場合は、断層像２３Ａ，２３Ｂ，…，２３Ｈから、補間演算により、投影面２１と平行な面に向けられた断層像２３ａ，２３ｂ，２３ｃ，…，２３ｈを作っておく必要がある。その後の投影計算は、図９の場合と同様である。

【００８０】

図１１は、視直線と断層面と投影面とがより複雑な位置関係にある場合の直線パノラマ変換を説明する図である。図１１においては、断層像２３上のＳ点（x_0，d_0，z_0）の投影結果が、平面上の点Ｐ（ｘ，ｙ，ｚ）になる。

【００８１】

直線パノラマ投影方法による断層像２３の円柱投影面２１への投影に当たり、断層像２３の各画素座標の円柱投影面２１上の座標への変換は次のように実行される。ここでは、一般性を失わずに断層像を取り扱えるように、次の通りに位置関係を設定する。図１１で入力の断層像２３は、ｙ軸に垂直な面内にあり、原点からd_0の距離にある。複数の断層像に対しては原点からの距離d_0が変わる。視直線Ｖは、円柱投影面の中心軸と一致するように設定し、ｘ，ｙ，ｚ軸のいずれとも平行でない任意の方向を与える。この方向は、例えばトラックボールやマウス等のポインティングデバイスでオペレータが指定できる。次に、視直線Ｖ上に任意の視点ｅを決め、その視点ｅから半円柱投影面の中心線Ｃｖに垂線ｈを下ろす。垂線ｈもまた、オペレータが決める。

【００８２】

ここで、半投影面の中央線Ｃｖに接する平面Ｔを仮定する。

【００８３】

視直線Ｖは、Ｖの方向ベクトルのパラメータa_1，b_1，c_1を用いて次のような式で表される。

$$(x-x_1)/a_1=(y-y_1)/b_1=(z-z_1)/c_1 \quad \cdots\cdots(1)$$

視直線Ｖ，視点ｅを決めると、a_1，b_1，c_1，x_1，y_1，z_1が定まる。また、トラックボール，マウス等のポインティングデバイスにより、視点ｅの方向を与えるト、方向ベクトルのパラメータa_2，b_2，c_2も与えられる。

【００８４】

上記のように、視点ｅ（x_1，y_1，z_1）を通り視直線Ｖに直交し方向がa_2，b_2，c_2の直線ｈを決めると、Ｖとｈとの直交条件から、次の式が成り立つ。

$$a_1a_2+b_1b_2+c_1c_2=0$$

また、直線ｈの式は次のようになる。

$$(x-x_1)/a_2=(y-y_1)/b_2=(z-z_1)/c_2 \quad \cdots\cdots(2)$$

ここで、a_2，b_2，c_2，x_1，y_1，z_1が決まっており、ｈ＝Ｒであるから、直線ｈと断層像２３（$y_1=d_0$）との交点は、直線ｈの式で$y=d_0$と置くことにより、次式で与えられる。

$$(x-x_1)/a_2=(d_0-y_1)/b_2=(z-z_1)/c_2$$
$$(x-x_1)=a_2(d_0-y_1)/b_2$$
$$(z-z_1)=c_2(d_0-y_1)/b_2$$
$$\therefore x=a_2(d_0-y1)/b_2+x_1$$
$$y=d_0$$
$$z=c_2(d_0-y_1)/b_2+z_1$$

この座標は断層像２３との交点の座標であり、d_0が変わればこの座標も変わる。

【００８５】

次に、Ｖ軸を中心として直線ｈを角度θだけ回転した直線ｈ’を仮定すると、ｈ’もＶと直交し、点（x_1，y_1，z_1）を通る。さらに、断層像２３（$y=d_0$）とも交差する

。このため、次の方程式が成り立つ。
$(x-x_1)/a_3=(d_0-y_1)/b_3=(z-z1)/c_3$ ……（３）
ここでa_3，b_3，c_3は、ｈ’の方向ベクトルのパラメータである。
【００８６】
（３）式から、Ｓ’の座標は、次式で求められる。
$x=a_3(d_0-y_1)/b_3+x_1$ ……（４）
$y=d_0$ ……（５）
$z=c_3(d_0-y_1)/b_3+z_1$ ……（６）
さらにＶとｈ，Ｖとｈ’の直交条件から、パラメータa_1，b_1，c_1，a_2，b_2，c_2，a_3，b_3，c_3の間には以下の条件が成り立つ。
$a_1a_3+b_1b_3+c_1c_3=0$
$\cos\theta=|a_2a_3+b_2b_3+c_2c_3|/\sqrt{(T_2\times T_3)}$
ただし、
$T_2=a_2^2+b_2^2+c_2^2$
$T_3=a_3^2+b_3^2+c_3^2$
そうすると、
$(a_2a_3+b_2b_3+c_2c_3)^2=T_2\cdot T_3\cdot\cos^2\theta$
となる。
【００８７】
ここで、
$T_2\cdot\cos^2\theta=k$
とおくと、上式は次のようになる。
$(a_2a_3+b_2b_3+c_2c_3)^2=k(a_3^2+b_3^2+c_3^2)$
両辺をb_3^2で割ると次のようになる。
$(a_2a_3/b_3+b_2+c_2c_3/b_3)^2=k(a_3^2+1+c_3^2)$
また、$a_1a_3+b_1b_3+c_1c_3=0$の両辺をb_3で割ると、次のようになる。
$a_1a_3/b_3+b_1+c_1c_3/b_3=0$
ここで、
$a_3/b_3=u$ ……（７）
$c_3/b_3=v$ ……（８）
と置くと、次の式が成り立つ。
$a_1u+b_1+c_1v=0$
$v=-(a_1u+b_1)/c_1$ ……（９）
このｖを上の式に代入し、ｕについて解くと、

$$\{(c_1a_2-c_2a_1)u+(c_1b_2-c_2b_1)\}^2=k\{(c_1^2+a_1^2)u^2+2a_1b_1u+(a_1^2+b_1^2)\} \quad \cdots\cdots(10)$$

（１０）式のようになる。
【００８８】
ここで以下のような置き換えを導入する。
$c_1a_2-c_2a_1=t_1$
$c_1b_2-c_2b_1=t_2$
$c_1^2+a_1^2=t_3$
$a_1^2+b_1^2=t_4$
そうすると、（１０）式は次のようになる。
$(t_1u+t_2)^2=k(t_3u^2+2a_1b_1u+t^2)$
これを整理すると、以下のようになる。

$(t_1^2-kt_3)u_2^2+2(t_1t_2-a_1b_1k)u+(t_2^2-kt_4)=0$

この式から、ｕは以下のようにして求められる。

$$u=\{(a_1b_1k-t_1t_2)\pm\sqrt{(t_1t_2-a_1b_1k)^2-(t_1^2-kt_3)(t_2^2-kt_4)}\}/(t_1^2-kt_3) \quad \cdots\cdots(11)$$

（１１）式のｕを用いると、（９）式のｖが求められる。さらに、（４），（５），（６）を用いて、Ｓ’（ｘ，ｙ，ｚ）が得られる。

【００８９】

複数の断層像２３についてはｄ$_0$が異なり、複数のｄ$_0$に対してＳ’が得られる。異なる視点ｅ（ｘ１，ｙ１，ｚ）についても、同様に、異なる（ｘ，ｙ，ｚ）が得られる。

【００９０】

一方、θが与えられると、（４），（５），（６）式から各断層像上の通過点の座標が得られ、その近傍の輪郭点の投影データが得られる。断層像が複数あるので、輪郭点が複数存在することもある。θが与えられると、これら複数の輪郭点は同じ位置として円柱投影面２１に投影されるが、視点の遠いところから表示メモリに書き込むと、視点に一番近い投影像が見える。

【００９１】

このようにして、視点ｅを視直線Ｖ軸上で表示する長さの部分だけ動かし、各視点ｅにおいて角度θを０から±９０度変えると、三次元投影像が円柱投影面２１上に得られる。この投影像をパノラマ変換により２次投影平面４に変換し、対応する画像表示メモリ５３に書き込み、ＣＲＴモニタ５４に表示する。

【００９２】

陰影変換は、２次投影平面４上で実行する。この陰影変換には、視直線Ｖからの距離に応じて濃淡を着ける方法、視直線に直交する各個別平面内での投影直線とのなす角度に応じて輝度変換する方法、視直線Ｖからの距離に応じて等高線のように輝度を変換する方法等が考えられる。

【００９３】

本実施例の直線パノラマ投影方法によれば、血管壁，腸壁などの管状の投影対象を投影する際に、直線または曲線に沿って切り開かれたパノラマ写真のように、ゆがみが少なくパノラマ状の広い視野が得られる。

【００９４】

《曲線パノラマ投影方法》

図１２は、本発明による曲線パノラマ投影方法の一実施例の手順を示すフローチャートである。本実施例の曲線パノラマ投影方法を適用すべきハードウエアの構成は、上記直線パノラマ投影方法を適用すべきハードウエアの構成と変わらないので、その説明を省略する。

【００９５】

ステップ２０１：本発明による曲線パノラマ投影方法においては、マウス，トラックボール等のポインティングデバイスを用いて、曲がった管状の投影対象に対して、管を通るように適当な任意の視曲線を引く。この視曲線には、視点が分布する。

ステップ２０２：視曲線の任意の点を決め、その点に接線を引き、その接線を中心軸とした短かい円柱投影面を仮定する。

ステップ２０３：上記短円柱投影面を投影曲面として曲線パノラマ投影方法により、短い範囲の物体を投影する。この投影方法は、まず直線投影（平行投影と中心投影を組み合わせた投影方法）方法により円柱投影面からなる投影面（円柱投影面：後述パノラマ変換による補正前の投影平面）へ投影するものである。

ステップ２０４：その投影後に、前記複数の投影曲面の結果を、２次投影平面に後述のパノラマ変換により展開し、それらを直線上に並べ、前記投影対象の投影像を得るものである。

【００９６】

ここでパノラマ変換とは、投影対象を円柱状の投影曲面に投影し、円柱投影面を平面に展開し、投影対象を２次投影平面に投影する処理をいう。

【００９７】

すなわち本発明では、前記円柱投影面を投影面として曲線投影したあと、その投影画像を投影平面に展開する。この場合、投影面である半円柱投影面上に分布した各点と、ＣＲＴの表示画素のアドレスとを対応させ、パノラマ画像表示の効果を投影平面（ＣＲＴ画面）上で得る。

【００９８】

次に、図１３～図１７を参照して上記発明方法のパノラマ変換の原理について説明する。

【００９９】

図１３は、曲線パノラマ投影方法において、視曲線の接線が中心軸と一致する円柱投影面の投影像を曲線パノラマ変換により平面に展開し、ゆがみを少なくしながら広視野化する原理を説明する図である。図１３において、短円柱投影面２１は、視曲線Ｃ上の視点ｅに中心を持ち、視点ｅを通る接線Ｖを中心軸とする円柱投影面である。ここでは、接線Ｖの方向をｘ軸に平行に設定してある。また、平面４は、座標（ｘ，ｙ，ｚ）の原点Ｏに接し、原点Ｏおいてｚ軸に垂直な２次投影平面であり、パノラマ変換による補正後の投影平面としての２次投影平面である。この投影平面４は、ＣＲＴの表示画面に相当する。

【０１００】

図１３において、ｘ，ｙ，ｚは三次元座標系の各軸、Ｏは三次元座標系の原点、ｅは曲線Ｃ上の視点、Ｃは視点ｅが連続的に分布する空間曲線すなわち視曲線、Ｖは視点ｅにおける曲線Ｃの接線、Ｒは円柱投影面２１の半径である。半径Ｒは、また、視曲線Ｃと投影平面４との距離でもある。ＱはＣから発した光線による円柱投影面上の点（x_1，θ）、Ｐは２次投影平面４上の点（η_1，ξ_1）、Θは視点ｅから円弧全体を見込む角度、θはＱ点とＶ軸を結んだ線とＺ軸のなす角、ｄθは１８０度をＮ等分した単位角度、Ｌは円柱投影面２１上の円弧ＯＱ、Ｌ’はＬと同じ長さを持ったｙ軸上の直線ＯＰ、η_1はＰ点に対応するＣＲＴ上のＸ座標、ξ_1はＰ点に対応するＣＲＴ上のＹ座標である。

【０１０１】

図１４は、図１３の原理において、円柱投影面の中心角が１８０度である場合の曲線パノラマ変換を説明する図である。

【０１０２】

図１３において、ｘ＝０におけるｙ－ｚ平面に着目すると、図１４となる。

【０１０３】

図１４において、視曲線Ｃに直交する平面（任意のｙ－ｚ平面）間は独立であり、各々の面内で投影計算を行えばよい。このため、ｘ＝０におけるｙ－ｚ平面に着目すると、図１４となる。図１４で、半円弧Ｉの１８０度の角度を等角度で分割し、それを横軸（ｙ軸）方向表示画素に対応させる。半円弧Ｉの円周を等間隔に分割し、表示画素に対応させると考えてもよい。

【０１０４】

図１５は、図１３の原理において、円柱投影面の中心角が１８０度よりも大きい場合の曲線パノラマ変換を説明する図である。図１５は円弧Ｉ全体を視点ｅから見込む角度Θが１８０度より大きい場合の分割の例であるが、この場合でも式は変わらない。

【０１０５】

図１４で、角度ＱｅＯをθ，１画素あたりの角度をｄθ，ＮをＣＲＴ上の横（Ｘ軸）方向表示画素数（例：５１２），ｎを任意位置を表す画素数とすると、次の式が成り立つ。

$d\theta = \Theta / N = \pi / N$

$L' = L$

$\xi_1 = OQ_1 = L = R \cdot n d\theta = \pi \cdot n \cdot R / N$

$\eta_1 = x_1$（紙面に垂直）

ただし、図１３で、Θは視曲線Ｃから半円弧全体を見込む角度、ｄθ、θはラジアン単位

で表現する。Ｑは投影平面４上のＰ点に対応する円柱投影面２１上の点、θはＱ点とＶ軸を結んだ線とｚ軸とのなす角、Ｌは円柱投影面２１上の円弧の長さ、Ｌ’はＬと同じ長さを持った線分であり、ｙ軸上の直線ＯＰである。

【０１０６】

ここでＯＡ＝π・Ｒ／２、ＯＡの２倍の長さの範囲をＣＲＴ画面の横（Ｘ軸）の表示の長さに対応させる。縦（Ｙ軸：紙面に垂直な方向）はＣＲＴ画面の画素数により決める。

【０１０７】

図１６は、曲線パノラマ投影方法において、視曲線が外側にある円柱投影面の投影像を曲線パノラマ変換により平面に展開し、ゆがみを少なくしながら広視野化する原理を説明する図である。図１６は、視曲線Ｃと円柱投影面２１との距離が円柱の半径よりも大きい場合である。

【０１０８】

図１７は、図１６の原理において、円柱投影面の中心角が１８０度である場合の曲線パノラマ変換を説明する図である。すなわち、図１６で、ｘ＝０におけるｙ－ｚ平面に着目すると、図１７となる。図１７で直線Ｐｅと円柱投影面との交点Ｑのｙ－ｚ平面上での座標は、ｙ軸上の点Ｐとｅを結ぶ直線とｚ軸上の原点から距離Ｒの点Ｏ’を中心とする半径Ｒの円周との交点Ｑとなる。

【０１０９】

図１６および図１７において、ｘ，ｙ，ｚは三次元座標系の各軸、Ｏは三次元座標系の原点、ｅは視点、Ｃは視点ｅが連続的に分布する視曲線、ｈは視点ｅと投影平面４との距離、Ｒは円柱投影面２１の半径、Ｐは投影平面４上の点（X_1，Y_1）、Θは視点ｅから円弧全体を見込む角度、P_1は円柱投影面２１上の点Q_1に対応する２次投影平面４上の点、θはＱ点とＶ軸を結んだ線とｚ軸のなす角、ｄθは角度ΘをＮ等分した単位角度、Ｌは円柱投影面２１上の円弧OQ_1の長さ、Ｌ’はＬと同じ長さを持った線分でｙ軸上の直線の長さOP_1である。

【０１１０】

図１７において、角度ＱＯ’Ｏをφ，角度ｅＱＯ’をωとすると、次の式が成り立つ。

φ＝ω＋θ

Ｒ／ｓｉｎθ＝（ｈ－Ｒ）／ｓｉｎω

これら２つの式から以下のようにして、η_1，ξ_1が求められる。

$\omega = sin^{-1}[\{(h-R)sin\theta\}/R]$

ｄθ＝Θ／Ｎ

θ＝ｎ・ｄθ　＝ｎ・Θ／Ｎ

Ｌ’＝Ｌ

ゆえに

$\xi_1 = R \cdot \phi = R(\omega+\theta)$

$\eta_1 = L$

この、η_1，ξ_1が表示メモリ上の画素アドレスとなる。すなわち、２次投影平面４の点Ｐは、ＣＲＴ画面上では点（η_1，ξ_1）に表示され、パノラマ変換が実行されたことになる。

【０１１１】

次に、図１８～２３を参照して、曲線パノラマ投影方法により、複数の断層像から、三次元画像を構成する手順を説明する。なお、図１９～２３のいずれにおいても、最初に円柱投影面２１上に断層像を投影し、次にパノラマ変換により投影像を展開して投影平面４に変換する。

【０１１２】

図１８は、曲線パノラマ投影方法により、複数の断層像から三次元画像の構成する際に、断層像の画素座標を投影面の画素座標に変換する原理を説明する図である。図１８に示す例では、説明を簡単にするため、円柱投影面２１の中心軸３１と断層像面２３とが平行であり、さらにｘ－ｙ平面Ｔが平行であるように、三次元座標系を定めてある。また、円柱

投影面２１の中心線はｘ軸と平行である。図１８において、ｘ，ｙ，ｚは三次元座標系（ｘ，ｙ，ｚ）の各軸、ｅ点（０，０，Ｒ）は視曲線Ｃ上の任意の視点ｅの位置、Ｖは視点ｅにおける曲線Ｃの接線、Ｑ点（ｘ，ｙ，ｚ）は円柱投影面２１上の点、Ｓ点（x_0，y_0，z_0）はｅ点（０，０，Ｒ）とＱ点（ｘ，ｙ，ｚ）とを結ぶ直線２２と断層像２３Ａとが交わる点、Ｒは視点ｅのｚ座標である。

【０１１３】

ここで、直線２２は、視点ｅから視曲線Ｃのｅ点における接線Ｖに対して直角に引く。また、d_0は断層像２３Ａのｚ軸上の位置であり、計算時に決まる。

【０１１４】

図１８において、各視点ｅに着目すれば、扇形の面をｚ軸方向に積み重ねたものとみなすことができる。つまり、扇形の面内で投影計算を実行し、それを積み重ねると、三次元画像を表示できる。

【０１１５】

図１９は、図１８の原理において、断層面と投影面とが平行である場合の曲線パノラマ変換を説明する図である。

【０１１６】

視点ｅを通る曲線Ｃのｅ点における接線Ｖに対してｅ点で直交する平面Ｂに着目する。図１９は、同様の座標系において、断層像２３Ａの他にも断層像２３Ｂ～２３Ｈを用意し、ｘ軸方向から見た状態を示す。この図１９において、断層像２３Ａ～２３Ｈは、同一対象物について同一方向に等間隔で得られた断層像であり、断層像２３には臓器領域Ｂ１，Ｂ２，Ｂ３，Ｂ４を強調して書いてある。曲線パノラマ変換により、まず、臓器領域Ｂ１，Ｂ２，Ｂ３，Ｂ４を円柱投影面２１に投影し、さらにそれをパノラマ変換して２次投影平面４に投影すると、Ｂ１’，Ｂ２’，Ｂ３’，Ｂ４’となる。なお、ここでは、等間隔の例を図示してあるが、必ずしも等間隔である必要はない。

【０１１７】

ここで投影データＢ１’，Ｂ２’，Ｂ３’，Ｂ４’を図示しない表示メモリに格納するときは、三次元的効果を出すために、視点ｅからみてより遠くに存在する投影データを先に書き込み、それより近くに存在する投影データは後のタイミングに先の投影データ上に上書きする。その後、陰影付け処理（シェーディング）を実行する。

【０１１８】

図２０は、図１８の原理において、断層面と投影面とが交差している場合の曲線パノラマ変換の原理を説明する図である。図２０は、図１９の例をより一般化し、円柱投影面と断層像面が平行でない例を示している。この場合には、断層像２３Ａ，２３Ｂ，．．．．．２３Ｈから、補間演算法により、投影面４と平行な面に向けられた断層像２３ａ，２３ｂ，２３ｃ，．．．．２３ｈを作っておく必要がある。その後の投影計算は、図１９の場合と同様である。

【０１１９】

図２１は、視曲線と断層面と投影面とがより複雑な位置関係にある場合の曲線パノラマ変換を説明する図である。断層像２３上のＳ点（x_0，d_0，z_0）の投影結果が平面Ｔ上の点Ｐ（ｘ，ｙ，ｚ）になることを示す。

【０１２０】

図２１において、曲線パノラマ投影方法による断層像２３の円柱投影面２１への投影に際し、断層像２３の各画素座標の円柱投影面２１上の座標への変換は、次のように行われる。

【０１２１】

ここでは、一般性を失わないようにするために、位置関係を次のように設定する。図２１において、入力の断層像２３は、ｙ軸に垂直な面内にあり、原点からd_0の距離にある。複数の断層像は、原点からの距離d_0が変わる。

【０１２２】

視曲線Ｃは、三次元空間の任意の曲線とする。ここで曲線Ｃ上の任意の視点ｅを決め、そ

の点において曲線Ｃに接線Ｖを引く。まず、接線Ｖを中心軸とした円柱投影面２１を仮定する。視点ｅは曲線Ｃ上を移動するので、それにつれて接線Ｖおよびそれと対をなす円柱投影面２１も三次元空間（ｘ，ｙ，ｚ）内を移動していく。ただし、断層像２３は三次元空間（ｘ，ｙ，ｚ）に固定されている。

【０１２３】

次に、接線Ｖ上の視点ｅから、半円柱投影面の中央線Ｃｖに垂線ｈを下ろす。垂線ｈは、トラックボールやマウス等のポインティングデバイスを用いてオペレータが決める。

【０１２４】

半投影面の中央線Ｃｖに接する平面Ｔを仮定する。この平面Ｔが２次投影平面４となる。平面Ｔも視点ｅと共に移動する。

【０１２５】

図２２は、図２１において、三次元空間の視曲線Ｃと視点ｅにおける接線Ｖとの関係を示す図である。

【０１２６】

ここで実際の計算においては、視曲線Ｃ上の視点ｅ（x_1，y_1，z_1）と、視曲線Ｃ上で視点ｅから微小距離Δｓだけ離れた点をｅｓ（ｘｓ，ｙｓ，ｚｓ）とする。ここで、任意に与えられた視曲線Ｃは十分滑らかに変化しているものと仮定する。この曲線は、数式で与えてもよいが、マウスやトラックボール等で与える方が簡便である。マウスやトラックボール等で与えた軌跡を２次曲線で近似したり、局所的に短い直線で近似し、この曲線全体を折れ線近似してもよい。

【０１２７】

ベクトルｅ→ｅｓのｘ，ｙ，ｚ方向の変化分をΔｘ，Δｙ，Δｚとし、a_1，b_1，c_1を次のように定義する。

$a_1 = \Delta x$，$b_1 = \Delta y$，$c_1 = \Delta z$

そうすると、曲線Ｃ上の点ｅ（x_1，y_1，z_1）における接線Ｖは、係数ａ，ｂ，ｃを用いて次の式で近似できる。

$$(x - x_1) / a_1 = (y - y_1) / b_1 = (z - z_1) / c_1 \quad \cdots\cdots (12)$$

視曲線Ｃと視点ｅとを決めると、Ｖが決まるので、a_1，b_1，c_1，x_1，y_1，z_1が決まる。また、トラックボール，マウス等により視点ｅの方向を与える方向ベクトルのパラメータa_2，b_2，c_2も与えられる。

【０１２８】

上述のように視点ｅ（x_1，y_1，z_1）を通り、接線Ｖに直交し、方向がa_2，b_2，c_2の直線ｈを決めると、Ｖとｈとの直交条件から、次式が成り立つ。

$a_1 a_2 + b_1 b_2 + c_1 c_2 = 0$

また、直線ｈの式は次のようになる。

【０１２９】

$$(x - x_1) / a_2 = (y - y_1) / b_2 = (z - z_1) / c_2 \quad \cdots\cdots (13)$$

ここで、a_2，b_2，c_2，x_1，y_1，z_1は決まっている。また、ｈ＝Ｒである。したがって、直線ｈと断層像２３（$y_1 = d_0$）との交点は、直線ｈの式で$y = d_0$と置くと、次式で与えられる。

$(x - x_1) / a_2 = (d_0 - y_1) / b_2 = (z - z_1) / c_2$

$(x - x_1) = a_2 (d_0 - y_1) / b_2$

$(z - z_1) = c_2 (d_0 - y_1) / b_2$

$\therefore x = a_2 (d_0 - y_1) / b_2 + x_1$

$y = d_0$

$z = c_2 (d_0 - y_1) / b_2 + z_1$

この座標は、断層像２３との交点の座標であり、d_0が変われば、この座標も変わる。

【０１３０】

Ｖ軸を中心として直線ｈを角度θだけ回転させた直線ｈ’を仮定すると、ｈ’も接線Ｖと直交して、点ｅ（x_1，y_1，z_1）を通る。さらに、断層像２３（$y=d_0$）とも交差する。このため、直線ｈ’は（１４）式で与えられる。

$$(x-x_1)/a_3=(d_0-y_1)/b_3=(z-z_1)/c_3 \quad \cdots\cdots(14)$$

ここでa_3，b_3，c_3は直線ｈ’の方向ベクトルのパラメータである。

【０１３１】

（１４）式から、直線ｈ’と断層像２３との交点Ｓ’（ｘ，ｙ，ｚ）の座標は、（１５）～（１７）式で求められる。

$$x=a_3(d_0-y_1)/b_3+x \quad \cdots\cdots(15)$$

$$y=d_0 \quad \cdots\cdots(16)$$

$$z=c_3(d_0-y_1)/b_3+z \quad \cdots\cdots(17)$$

さらに接線Ｖと直線ｈ，接線Ｖと直線ｈ’の直交条件から、パラメータa_1，b_1，c_1，a_2，b_2，c_2 a_3，b_3，c_3の間には以下の条件が成り立つ。

$$a_1a_3+b_1b_3+c_1c_3=0$$

$$\cos\theta=|a_2a_3+b_2b_3+c_2c_3|/\sqrt{(T_2\times T_3)}$$

ただし、T_2，T_3は次のようにおいた。

$$T_2=a_2^2+b_2^2+c_2^2$$

$$T_3=a_3^2+b_3^2+c_3^2$$

そうすると、

$$(a_2a_3+b_2b_3+c_2c_3)^2=T_2T_3\cdot\cos^2\theta \quad \cdots\cdots(18)$$

ここで、

$$T_2\cdot\cos^2\theta=k$$

とおくと、（１８）式は（１９）式のようになる。

$$(a_2a_3+b_2b_3+c_2c_3)^2=k(a_3^2+b_3^2+c_3^3) \quad \cdots\cdots(19)$$

両辺をb_3^2で割ると、（２０）式のようになる。

$$(a_1a_3/b_3+b_1+c_1c_3/b_3)^2=k(a_3^2+1+c_3^2) \quad \cdots\cdots(20)$$

また、$a_1a_3+b_1b_3+c_1c_3=0$の両辺をb_3で割ると、次のようになる。

$$a_1a_3/b_3+b_1+c_1c_3/b_3=0$$

ここで、

$$a_3/b_3=m$$

$$c_3/b_3=n$$

と置くと、次の式が成り立つ。

$$a_1m+b_1+c_1n=0$$

$$n=-(a_1m+b_1)/c_1 \quad \cdots\cdots(21)$$

（２１）式のｎを（２０）式に代入し、ｍについて解くと、（２２）式のようになる。

$$\{(c_1a_1-c_2a_1)m+(c_1b_2-c_2b_1)\}^2=k\{(c_1^2+a_1^2)m^2+2a_1b_1m+(a_1^2+b_1^2)\} \quad \cdots\cdots(22)$$

ここで、以下のような置き換えを導入する。

$$c_1a_1-c_2a_1=t_1$$

$$c_1b_2-c_2b_1=t_2$$

$$c_1^2+a_1^2=t_3$$

$$a_1^2+b_1^2=t_4$$

そうすると、（２２）式は次のようになる。

$$(t_1m+t_2)^2=k(t_3m+2a_1b_1m+t_4)$$

これを整理すると、（２３）式のようになる。

$$(t_1^2-kt_3)m^2+2(t_1t_2-a_1b_1k)m+(t_2^2-kt_4)=0 \quad \cdots\cdots(23)$$

この式から、ｍは（２４）式により求められる。

$$m=\{(a_1b_1k-t_1t_2)\pm\sqrt{\{(t_1t_2-a_1b_1k)^2-(t_2^2-kt_4)(t_1^2-kt_3)\}}\}/(t_1^2-kt_3) \quad \cdots\cdots(24)$$

（２４）式のｍを用いると、（２１）式のｎが得られる。

【０１３２】

これらの値に基づいて、（１５），（１６），（１７）式を用いると、断層像２３上の交点Ｓ’（ｘ，ｙ，ｚ）が得られる。

【０１３３】

複数の断層像２３に対してはｄ$_0$が異なるので、複数のｄ$_0$に対して各々Ｓ’（ｘ，ｙ，ｚ）が得られる。異なる視点ｅ（ｘ$_1$，ｙ$_1$，ｚ$_1$）に対しても同様に異なるＳ’（ｘ，ｙ，ｚ）が得られる。

【０１３４】

一方、θが与えられると、（１５），（１６），（１７）式から、各断層像上の通過点の座標が求まり、その近傍の輪郭点の投影データが求められる。断層像は、複数あるから、輪郭点が複数存在することもある。θが与えられると、これら複数の輪郭点は、同じ位置として円柱投影面２１に投影されるが、視点の遠いところから表示メモリに書き込むようにすれば、視点に一番近い投影像が見える。

【０１３５】

視点ｅからの距離は次のようにして求められる。与えられた視点ｅから任意平面２３上の任意の点Ｓ’までの距離ｅＳ’は、ＳおよびＳ’の座標を用いて、距離ｅＳとＳＳ’とにより、次の式で計算できる。

$$eS'=\sqrt{\{(eS)^2+(SS')^2\}} \quad \cdots\cdots(25)$$

このｅＳ’を利用して視点ｅからの距離を定め、例えば陰影変換を実行する。

【０１３６】

視点ｅを視曲線Ｃ上で表示する長さの領域で少しずつ動かし、各視点ｅの位置において、角度θを０から例えば±９０度または±１８０度の範囲で変えると、１次投影像が円柱投影面２１上に求められる。この投影像をパノラマ変換により２次投影平面４に変換し、対応する画像表示メモリに書き込むと、ＣＲＴに表示される。

【０１３７】

図２３は、２次投影平面上に曲線パノラマ変換された１次投影像の相互の関係を示す図である。長さδＶの円柱投影面２１に投影された１次投影像は、ｘ方向の幅Ｗを５１２点に対応させて画像メモリに書き込む。ｙ軸方向は長さδＶの投影像を曲線Ｃの長さの分だけ並べて５１２点に対応させる。

【０１３８】

陰影変換は、２次投影平面４上で実行する。陰影変換には、視曲線Ｃからの距離に応じて濃淡を着ける方法や、視曲線に直交する各個別平面内での投影直線とのなす角度に応じて輝度変換する方法や、視曲線Ｃからの距離に応じて等高線のように輝度変換する方法等が考えられる。

【０１３９】

《任意曲面を用いるパノラマ投影方法》

上記直線パノラマ投影方法の実施例では、円柱面へのパノラマ投影方法を取り扱ったが、図２４は、任意曲面へのパノラマ投影方法の手順を示すフローチャートである。

【０１４０】

ステップ３０１：任意曲面へのパノラマ投影方法においては、まず、三次元空間に置かれた被投影物体に対して、視点が分布する任意の直線Ｅを引く。ここでは直線の実施例を示すが、曲線であっても曲線上の各点における接線を仮定すれば、本実施例を適用できる。

ステップ３０２：上記直線に対してそれと平行な任意の曲面からなる投影面Ｔを仮定する。この投影面Ｔは平面であってもよい。
ステップ３０３：視直線Ｅの各点で視直線と直交する平面ｔを仮定する。
ステップ３０４：平面ｔと投影対象との交線を求める。また、上記投影面との交さ曲線Ｕを求める。
ステップ３０５：上記交線と交さ曲線Ｕをｘｙ平面に写像する。また、交さ曲線も写像する。
ステップ３０６：ｘｙ平面で投影処理を行う。
ステップ３０７：視直線上の視点を移動し、上記処理を３０３ステップから繰り返す。
ステップ３０８：視線上で必要な区間を計算したら結果を例えば陰影変換してＣＲＴに表示する。

【０１４１】

図２５および図２６を参照して、任意曲面への直線パノラマ変換の原理について説明する。
図２５において、Ｅは視点が連続的に分布する直線であり、ｘｙ平面に平行である。また、直線Ｅ上のｅｉ（e_1，e_2，e_3）は各視点を表す。Ｓは三次元空間内の投影対象を表し、s_1，s_2はＳ内の点を表す。また、Ｔは投影対象を投影する平面であり、ｘｙ平面と同一である。この平面上に投影されたデータは、例えば陰影変換して、ＣＲＴに表示される。

【０１４２】

ここで、直線Ｅ上の各点e_2において直線Ｅに垂直な平面ｔを考える。平面ｔ上の位置関係に着目すると、ｔはe_2，s_2を含んでおり、平面ｔ上ではe_2を視点とし、ｘｙ平面上の交線Ｕ２を投影線とみなすことができるので、平面ｔ内で１つの投影計算を行う。Ｓ’は平面ｔによる投影対象Ｓの断面である。このような計算を直線Ｅ上の各点ｅｉについて行い、結果として、投影像がｘｙ平面上に得られる。

【０１４３】

図２５において、平面ｔに着目すると、図２６となる。図２６で点e_2は、視線Ｅ上の視点である。また点Ｑは、投影対象Ｓ内の点S_2の直線U_2への投影である。図２６において、点Ｏから点Ｑまでの距離Ｌは次の式で表される。

【０１４４】

$L = h \cdot \tan\theta$

図２７は、投影面Ｔが曲面の場合の例であり、投影線U_2は曲線となる。この場合でも考え方は同じであるが、投影面Ｔから平面T_2への写像が必要となる。この写像の方法には、曲面に沿った距離OP_1をそのまま直線OQ_2に写像する方法や、平面に垂直に下し、直線OQ_1として写像する方法が考えられる。

【０１４５】

曲線OP_1の長さは、曲線の関数ｆを用いて計算可能である。計算方法の詳細については、例えば、高木貞治著「解析概論」１３２頁～１３９頁（１９６８年６月３０日改訂第三版、岩波書店発行）に述べられている。

【０１４６】

図２８～３４は、複数の断層像から、曲線パノラマ投影方法により三次元画像を構成する方法を説明する。まず、上記三次元画像の構成方法において、曲線パノラマ投影による座標変換について述べる。投影面への各断層像の投影に当たって、各断層像の画素座標を投影面上の座標に変換する操作は、次のように行われる。

【０１４７】

図２８では、説明を簡単にするため、視点が分布する線Ｅは直線であり、さらにｘ軸に平行でｚ軸に交点をもち、断層像２３はｘｙ平面３０に平行であるように座標系をとっている。また、投影面Ｔは平面であり、ｘｙ平面に平行である。

【０１４８】

図２８において、視点ｅの位置は、視直線Ｅ上の任意の位置である。ｘ，ｙ，ｚは三次元

座標系（ｘ，ｙ，ｚ）の各軸、ｅ点（ｘ，０，Ｒ）は視直線Ｅ上の任意の視点ｅの位置、Ｑ点（ｘ，ｙ，ｚ）は投影面２１上の点、Ｓ点（$ｘ_0$，$ｙ_0$，$ｚ_0$）はｅ点（ｘ，０，Ｒ）とＱ点（ｘ，ｙ，ｚ）とを結ぶ直線２２と断層像２３Ａとの交点、Ｒは視点ｅのｚ座標である。ここで、直線２２はｅ点から視直線Ｅに対して直角に引く。また、$ｄ_0$は断層像２３Ａの位置（ｚ軸上）であり、計算時に決まる。

【０１４９】

図２８において、各視点ｅに着目すれば、視点ｅを含み、視直線Ｅに直交する平面ｔを仮定し、その面をｚ軸方向に積み重ねたものといえる。すなわち、平面ｔ内での投影計算を行い、それを積み重ねると、３次元画像を表示できる。

【０１５０】

図２９は、任意方向への投影における本実施例の原理を表す図である。図２８で、３次元座標ｘｙｚの直交座標系において、一般性を失うことなく、複数の断層像２３をｚ軸に垂直におく。複数の断層像２３はお互いに平行であるとを仮定するが、平行でない場合は、三次元空間内での内挿計算により、平行な画像が容易に求められる。また、等間隔を仮定するが、原画像が等間隔でない場合も、内挿計算により、画像が容易に求められる。

【０１５１】

さらに、視点ｅが分布する任意の直線をＥとするが、直線Ｅはｚ軸と交わるように引く。このとき、直線Ｅのｘｙ平面への射影のｘ軸からの回転角をαとする。また、直線Ｅの、ｚ軸からの傾きをωとする。また、原点Ｏから、前記直線Ｅに平行な直線で、直線Ｅを含む平面に存在する直線ｗを引く。そうすると、ｗは、原点０からｘｙ平面でのｘ軸からの回転角がα、ｚ軸からの傾きがωである軸となる。また、ｗ軸の上で原点から距離$ｄ_2$のところでｗ軸に直交する平面ｔを仮定する。さらに、ｗ軸と視線Ｅとの距離を$ｈ_1$とする。また、ｗ軸に平行でｗ軸から距離$ｈ_2$のところに投影平面Ｔを仮定する。平面ｔとｗ軸との交点をＯ’とする。投影平面Ｔは、平面ｔ上で視点ｅと０’を結ぶ直線に直交する。

【０１５２】

そうすると、視線Ｅに分布する視点からの投影は各平面ｔ内で考えればよい。すなわち、各平面ｔと複数の断層像２３との交線上の点を、視線Ｅと平面ｔとの交点を視点ｅとして、平面Ｔに投影していけばよい。

【０１５３】

図２８で、平面ｔと複数の断層像２３との交線を４０とし、交線のｘｙ平面への射影を４０’とする。また、Ｏ’のｘｙ平面への射影をＯ”とする。一方、投影平面Ｔと平面ｔの交線と、視点ｅと点Ｏ’とを結んだ直線との交点をＮ、そのｘｙ平面への射影をＮ’とする。また、ｗ軸のｘｙ平面への射影をｕ’、ｘｙ平面上にあり、原点Ｏを通り、直線ｕ’に直交する直線をｖ’とする。

【０１５４】

原点から$ｄ_1$の距離の断層像２３の平面の方程式を（２６）で表す。このとき、複数の断層像に対しては、ｚの値が変わるだけである。

$ｚ＝ｄ_1$ ……（２６）

また、ｗ軸に直交し、原点Ｏから距離$ｄ_2$の平面ｔは（２７）式で表す。ただし、直線ＯＯ’と同じ向きの単位ベクトルをｗ（ｌ，ｍ，ｎ）とする。

$ｌｘ＋ｍｙ＋ｎｚ＝ｄ_2$ ……（２７）

ただし、ｌ，ｍ，ｎはω、αを用いて、次の式で与えられる。

$ｌ＝ｓｉｎω・ｃｏｓα$

$ｍ＝ｓｉｎω・ｓｉｎα$

$ｎ＝ｃｏｓω$

直線Ｅは、操作者がマウス，トラックボールなどで外部から与えるので、直線Ｅを与えると、係数ｌ，ｍ，ｎが決まる。

【０１５５】

図３０は、平面ｔに対して垂直に見た図である。図３０において、２３は複数の断層像、Ｔは投影平面である。平面ｔに対して垂直に見た場合、投影面Ｔは直線に見える。交線４

０は平面ｔ上に分布し、その間隔ｄｌは、ｄｌ＝d_1ｃｏｓｅｃωで与えられる。図３０を用いて、交線４０の式ともとのｘｙ平面における関係を説明する。

【０１５６】

まず、ｘｙｚ座標系による３次元空間における断層像２３と平面ｔの交線の式を求める。交線は断層像の数だけ存在する。ここで、（２６）式と（２７）式とで表される２つの平面の交線の方向ベクトルをｋ（ａ，ｂ，ｃ）とすると、ｋは（２６）、（２７）の法線ベクトルg_1（０，０，１）、g_2（ｌ，ｍ，ｎ）とそれぞれ垂直であるから、（２８），（２９）式が成り立つ。

kg_1＝　　ｃ＝０　　……（２８）

kg_2＝ｌａ＋ｍｂ＋ｎｃ＝０　　……（２９）

（２８），（２９）式から、方向ベクトルｋの方向比ａ：ｂ：ｃを、ｌ，ｍ，ｎを用いて求めると、（３０）式となる。

ａ：ｂ：ｃ＝－ｍ：ｌ：０　　……（３０）

交線は、これらａ，ｂ，ｃ（ｌ，ｍ，ｎ）を用いて、（６）式で与えられる。

（ｘ－x_1）／－ｍ＝（ｙ－y_1）／ｌ，　ｚ＝d_1　　……（３１）

ここでy_1を求めるために、x_1＝０とおき、（２６），（２７）式からy_1を求める。

z_1＝d_1　　……（３２）

ｍy_1＋ｎz_1＝d_2　　……（３３）

（３２）式から、z_1＝d_1を（３３）式に代入して、y_1を求めると、（３４）式となる。

y_1＝（－ｎd_1＋d_2）／ｍ　　……（３４）

すなわち、２つの平面１、２の交線である（３１）式は、次の（３５）式となる。

ｘ／－ｍ＝｛ｙ＋（ｎd_1－d_2）／ｍ｝／ｌ，　ｚ＝d_1　　……（３５）

または、変形して（３６）式

ｌｘ＋ｍｙ＋（ｎd_1－d_2）＝０，　ｚ＝d_1　　……（３６）

となる。

【０１５７】

図３１は、複数の断層像２３，ｗ軸と直交平面ｔ，投影平面Ｔ，視直線Ｅとの間の関係およびそれらのｘｙ平面への射影の関係を説明するため、直線Ｏｕ’を含むｘｙ平面に垂直な面で切断した図である。図３１で、ｖ軸は、（３６）式においてd_1＝d_2・ｃｏｓωとおいた（３７）式で表される。

ｌｘ＋ｍｙ＋d_2（ｎ・ｃｏｓω－１）＝０，　ｚ＝d_1　　……（３７）

原点Ｏ’のｘｙｚ座標系での座標は、（３８），（３９），（４０）式を用いて、（４１）～（４３）式で与えられる。

ｚ＝d_1　　……（３８）

ｙ＝ｘ・ｔａｎα　　……（３９）

ｌｘ＋ｍｙ＝ｍd_2（ｎ・ｃｏｓω－１）　　……（４０）

ｘ＝｛ｍd_2（ｎ・ｃｏｓω－１）｝／（ｌ＋ｔａｎα　）　　……（４１）

ｙ＝｛ｍd_2（ｎ・ｃｏｓω－１）｝ｔａｎα／（ｌ＋ｔａｎα）　　……（４２）

ｚ＝d_1　　……（４３）

図３２は、図３１と同じ関係を表す図であり、複数の視点に対してｗ軸に直交する複数の平面ｔと投影平面Ｔとの関係を示す。図３２において、投影方向ＰｗとＰｕは平面ｔ上での投影であり、投影方向ＰｚとＰｘはＰｗとＰｕの関係をｘｙ平面に射影したときの投影方向である。すなわち、交線４０，視線Ｅ，投影平面Ｔ等の関係をそのままｘｙ平面に射影し、ｘｙ平面で投影計算を行えばよい。

【０１５８】

図３３は、ｚ軸の上方からｘｙ平面に射影した状態で、ｘｙ軸とｕ’ｖ’軸との関係を説明する図である。両者の関係は、ｘｙ平面において座標回転となる。

ｘｙ平面への射影変換では、平面ｔ上での交線の間隔d_1をｘ－ｙ平面上に変換したときの間隔ｄｄは、（４４）式のようになる。さらに各断層像間の間隔ｄｚを用いて、（４５）式で表せる。

$dd=d_1\cdot\cos\omega$ ……（４４）

$dd=dz/\tan\omega$ ……（４５）

また、（ｘａ，ｙａ）を通る直線の式は、次式で表される。

$y-ya=(yi-ya)(xi-xa)/(xi-xa)$

$lx+my+(nd_1-d_2)=0$

図３４は、平面ｔ上の交線、平面ｔと投影面Ｔの交線、視点等をｘｙ平面に射影した関係を表す図である。

【０１５９】

ここで、ｘ－ｙ平面上での座標回転を考える。関数ｆ（ｘ，ｙ）＝０を原点の周りにαだけ回転して得られる関数の式は、次のようになる。

【０１６０】

$f(u,v)=f(x\cdot\cos\alpha+y\cdot\sin\alpha,-x\cdot\sin\alpha+y\cdot\sin\alpha)=0$

新しいｕ－ｖ軸と、もとのｘ－ｙ　軸との間には、次の（４６），（４７）式の関係が有る。

【０１６１】

$x=u\cdot\cos\alpha-v\cdot\sin\alpha$ ……（４６）

$y=u\cdot\sin\alpha+v\cdot\cos\alpha$ ……（４７）

（４０）式に（４６），（４７）式のｘ，ｙを代入してｕ，ｖについて表すと、（４８）式になる。

【０１６２】

$u\cdot\sin\omega=(d_2-nd_1)$

$u=(d_2-nd_1)/\sin\omega=(d_2-d_1\cdot\cos\omega)/\sin\omega$ ……（４８）

すなわち、（３６）式から、断層像２３と平面ｔとの交線が求まる。次に（４８）式からｕ，ｖの座標を求める。実際には直線はｖ　軸に平行なため、ｖ＝一定となり、ｕのみを変える。次に、（４６），（４７）式により、逆にｘ，ｙの座標を計算して対応する断層像上の点Ｓを求めればよい。この時、対応する点Ｓに座標が一致しなければ、内挿計算により求めることができる。

【０１６３】

以上のことから、平面ｔ上での投影平面Ｔへの投影は、それらのｘｙ平面上への射影により考えることができる。このとき、視点ｅと投影平面Ｔとの距離は、ｃｏｓωだけ短縮されるが、全ての交線も短縮されるため、前記ｘｙ平面への射影像で計算しても、問題はない。

ここで、$z=d_1$のときのｕ’は、次のようになる。

$d_1=u'\cdot\tan\omega+d_2/\cos\omega$

したがって、

$u'=(d_1\cdot\cos\omega-d_2)/\sin\omega$

図３５は、投影面が平面の場合の平面ｔ上の関係を、上からｘｙ平面に射影した図であり、投影計算を説明する図である。図３５で、Ｏは、ｘｙｚ軸およびｕ’ｖ’ｗ軸の原点、ｅ’は視点ｅのｘｙ平面への射影、Ｎ’はＮの射影である。ここで、断層像２３と平面ｔとの複数の交線複数のｘｙ平面への射影を２３’とする。また、投影面Ｔと平面ｔとの交線のｘｙ平面への射影を、Ｔ’とする。以下、各記号を図のように仮定する。交線２３’の上の点Ｓと視点の射影ｅ’を結んだ直線を延長し、直線Ｔ’との交点をＰとすれば、ＰがＳの投影点となる。

$v=u\cdot\tan\theta-du\cdot\tan\theta$

直線４０と、直線２３’の交点Ｓの座標：ｕ＝ｕｉとの交点のｖｉの座標は、上式にｕｉを代入して、次のようになる。

ｖｉ＝ｕｉ・ｔａｎθ－ｄｕ・ｔａｎθ
直線ＯＮ’の長さは、ｃｏｓωで短縮されているが、断層像２３’および視点ｅ’との距離の関係すなわち比は、そのまま保存されているので、この上で計算しても問題はない。また、直線ＯＮ’に垂直な方向は短縮されないから、Ｔ’上に得られる投影像は、そのまま表示できる。

【０１６４】
図３６は、投影面が曲面の場合の平面ｔ上の関係を、上からｘｙ平面に射影した図であり、投影計算を説明する図である。図３６は、投影面が任意曲面であるが、計算方法は、いままで述べた方法と同じである。ただし、曲面上での点Ｎから点Ｐまでの距離として曲線上の長さを計算する方法、または、Ｐ点をＯｕ’軸に平行な点Ｐ”を用いる方法がある。

【０１６５】
点Ｓ（x_1，y_1）は座標を回転角αだけ回転させた新しいｕ－ｖ座標系においては、（４６），（４７）式で与えられる。このｕ－ｖ座標系では、上記（１１）式は新しいｕ－ｖ座標軸を用いて、ｕ＝一定，　ｖ＝変数として表される。ｗ軸の上で、原点Ｏからの距離d_2が変わるに連れて、視点ｅもｘ－ｙ座標上で視線Ｅの上で移動して行く。また、断層像２３との交線も変わっていく。

【０１６６】
図３６は、投影面が任意曲面の場合であるが、計算方法は、これまで述べた方法と同じである。ただし、ＣＲＴに表示するため、投影像を平面に写像する場合、曲面上での点Ｎから点Ｐまでの距離として曲線の長さを利用する方法、または、Ｐ点をＯｕ’軸に平行な点Ｐ”を用いる方法がある。

【０１６７】
直線４０と直線２３’の交点Ｓの座標とは、次のようになる。
ｖ＝ｕ・ｔａｎθ－ｄｕ・ｔａｎθ
ＶＴ＝（Ｒ－ｄｕ）ｖｉ／（ｕｉ－ｄｕ）
ｔａｎθ＝ＶＴ／（Ｒ－ｄｕ）
複数の断層像２３に対しては、各断層像間の距離ｄ１が異なり、また、複数の平面ｔに対しては、原点Ｏからの距離ｄ２が異なる。このようにして、対応する断層像上の点Ｓとその投影点Ｐが求められる。

【０１６８】
視点ｅを視直線Ｅ軸上で表示する長さの部分だけ動かし、各視点ｅにおける平面ｔとその断層像との交線を計算し、ｘｙ平面への投影点を計算し、平面Ｔに投影すると、任意方向への平面パノラマ投影像が得られる。この投影像を対応する画像表示メモリに書き込むと、ＣＲＴに表示できる。

【０１６９】
陰影変換は、投影平面Ｔ上で実行すればよい。この陰影変換には、視直線Ｅからの距離に応じて濃淡を着ける方法，視直線に直交する各個別平面内での投影直線とのなす角度に応じて輝度変換する方法，視直線Ｅからの距離に応じて等高線のように輝度変換を行う方法等が考えられる。

【０１７０】
【発明の効果】
本発明によれば、血管壁，腸壁などの管状の投影対象を投影する際に、直線または曲線に沿って切り開かれたパノラマ写真のように、ゆがみが少なくパノラマ状の広い視野が得られるパノラマ投影方法が得られる。

【０１７１】
また、任意の曲面へのパノラマ投影方法によれば、血管壁，食道壁などの管状の投影対象の投影像が、あたかもその内部に入って見たような立体的な画像として表示されるので、正確かつ迅速な診断に役立つ。

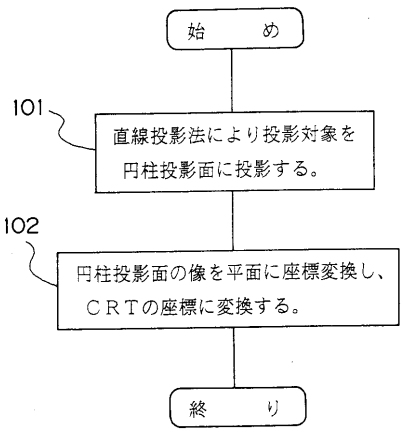
【図面の簡単な説明】
【図１】本発明による直線パノラマ投影方法の手順を示すフローチャートである。

【図２】図１の直線パノラマ投影方法を実行するためのハードウェアの構成の一例を示すブロック図である。
【図３】直線パノラマ投影方法において、視直線が中心軸と一致する円柱投影面の投影像を直線パノラマ変換により平面に展開し、ゆがみを少なくしながら広視野化する原理を説明する図である。
【図４】図３の原理において、円柱投影面の中心角が１８０度である場合の直線パノラマ変換を説明する図である。
【図５】図３の原理において、円柱投影面の中心角が１８０度よりも大きい場合の直線パノラマ変換を説明する図である。
【図６】直線パノラマ投影方法において、視直線が外側にある円柱投影面の投影像を直線パノラマ変換により平面に展開し、ゆがみを少なくしながら広視野化する原理を説明する図である。
【図７】図６の原理において、円柱投影面の中心角が１８０度である場合の直線パノラマ変換を説明する図である。
【図８】直線パノラマ投影方法により、複数の断層像から三次元画像の構成する際に、断層像の画素座標を投影面の画素座標に変換する原理を説明する図である。
【図９】図８の原理において、断層面と投影面とが平行である場合の直線パノラマ変換を説明する図である。
【図１０】図８の原理において、断層面と投影面とが交差している場合の直線パノラマ変換の原理を説明する図である。
【図１１】視直線と断層面と投影面とがより複雑な位置関係にある場合の直線パノラマ変換を説明する図である。
【図１２】本発明による曲線パノラマ投影方法の手順を示すフローチャートである。
【図１３】曲線パノラマ投影方法において、視曲線の接線が中心軸と一致する円柱投影面の投影像を曲線パノラマ変換により平面に展開し、ゆがみを少なくしながら広視野化する原理を説明する図である。
【図１４】図１３の原理において、円柱投影面の中心角が１８０度である場合の曲線パノラマ変換を説明する図である。
【図１５】図１３の原理において、円柱投影面の中心角が１８０度よりも大きい場合の曲線パノラマ変換を説明する図である。
【図１６】曲線パノラマ投影方法において、視曲線が外側にある円柱投影面の投影像を曲線パノラマ変換により平面に展開し、ゆがみを少なくしながら広視野化する原理を説明する図である。
【図１７】図１６の原理において、円柱投影面の中心角が１８０度である場合の曲線パノラマ変換を説明する図である。
【図１８】曲線パノラマ投影方法により、複数の断層像から三次元画像の構成する際に、断層像の画素座標を投影面の画素座標に変換する原理を説明する図である。
【図１９】図１８の原理において、断層面と投影面とが平行である場合の曲線パノラマ変換を説明する図である。
【図２０】図１８の原理において、断層面と投影面とが交差している場合の曲線パノラマ変換の原理を説明する図である。
【図２１】視曲線と断層面と投影面とがより複雑な位置関係にある場合の曲線パノラマ変換を説明する図である。
【図２２】図２１において、三次元空間の視曲線Ｃと視点ｅにおける接線Ｖとの関係を示す図である。
【図２３】２次投影平面上に曲線パノラマ変換された１次投影像の相互の関係を示す図である。
【図２４】任意曲面へのパノラマ投影方法の手順を示すフローチャートである。
【図２５】パノラマ投影方法において、任意曲面から平面に展開し、ゆがみを少なくしながら広視野化する原理を説明する図である。

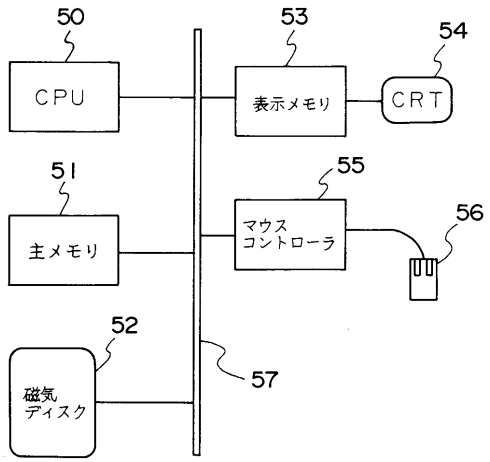
【図２６】パノラマ投影方法において、任意曲面から平面に展開し、ゆがみを少なくしながら広視野化する原理を説明する図である。
【図２７】パノラマ投影方法において、任意曲面から平面に展開し、ゆがみを少なくしながら広視野化する原理を説明する図である。
【図２８】三次元画像の構成方法において、断層像の画素座標を投影面上の座標に変換する方法を説明する図である。
【図２９】同様に、複数の断層像の画素座標を投影面上の座標に変換する方法を説明する図である。
【図３０】視点，断層像，投影面がより複雑な位置関係にある場合の直線投影による座標変換方法を説明する図である。
【図３１】視点，断層像，投影面がより複雑な位置関係にある場合の直線投影による座標変換方法を説明する図である。
【図３２】視点，断層像，投影面がより複雑な位置関係にある場合の直線投影による座標変換方法を説明する図である。
【図３３】視点，断層像，投影面がより複雑な位置関係にある場合の直線投影による座標変換方法を説明する図である。
【図３４】視点，断層像，投影面がより複雑な位置関係にある場合の直線投影による座標変換方法を説明する図である。
【図３５】投影計算を説明する図である。
【図３６】投影計算を説明する図である。
【図３７】円柱投影面の中心角が１８０度である場合の直線パノラマ投影方法の原理を説明する図である。
【図３８】円柱投影面の中心角が１８０度よりも大きい場合の直線パノラマ投影方法の原理を説明する図である。
【図３９】曲線パノラマ投影方法の全体の概要を示す図である。
【図４０】円柱投影面の中心角が１８０度である場合の曲線パノラマ投影方法の原理を説明する図である。
【図４１】円柱投影面の中心角が１８０度よりも大きい場合の曲線パノラマ投影方法の原理を説明する図である。
【図４２】視曲線に沿う視点と各視点における接線とこの接線を中心軸とする複数の短い円柱投影面との関係を示す図である。
【図４３】任意曲面へのパノラマ投影を説明する図である。
【図４４】任意曲面へのパノラマ投影を説明する図である。
【図４５】従来の中心投影方法における断層像と投影面との関係を示す図である。
【図４６】従来の平行投影方法における断層像と投影面との関係を示す図である。
【図４７】従来の中心投影方法において断層像と投影像との関係が視点からの距離によりどのように変化するかを示す図である。
【図４８】従来の平行投影方法において断層像が投影像としてどのように重ねて表示されるかを示す図である。
【符号の説明】
４　２次投影平面
２１　円柱投影面
または接線Ｖを中心軸とする１次円柱投影面
２３　断層像
Ｃ　視線の分布する三次元曲線
ｅ　直線上の視点または三次元曲線Ｃ上の視点
ｈ　視点ｅと円柱投影面２１との距離
ｈ　視点ｅから投影曲面の中央に引いた垂線
Ｌ　円柱投影面２１上の円弧ＯＱ
Ｌ’　Ｌと同じ長さを持った直線Ｏ２Ｑ”上の線分

またはＬと同じ長さを持った２次投影平面上の線分
Ｐ　２次投影平面４上の点（ｘ　，ｙ　，ｚ　）
Ｑ　投影平面４上のＰ点に対応する円柱投影面２１上の点
（直線Ｐｅと円柱投影面２１の交点）
Ｒ　１次円柱投影面２１の半径
Ｖ　視点ｅにおける曲線Ｃの接線
Ｓ　視点ｅから円柱投影面上の点Ｑへ引いた直線と断層像２３が交わる点
θ　直線Ｐ’ｅとｚ軸のなす角
η　ＣＲＴのＸ軸に平行に設定された表示アドレス
θ　垂線ｈとｚ軸のなす角
ξ　ＣＲＴのＹ軸に平行に設定された表示アドレス
φ　線分Ｑ’Ｏ’とｚ軸とのなす角
ω　線分Ｑ’ｅと線分Ｑ’Ｏ’とのなす角

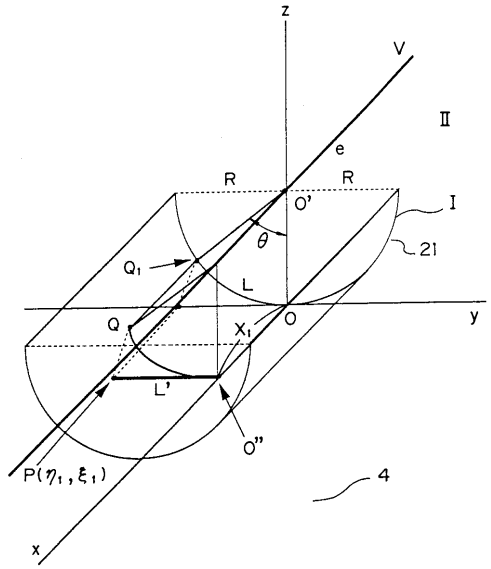
【図１】



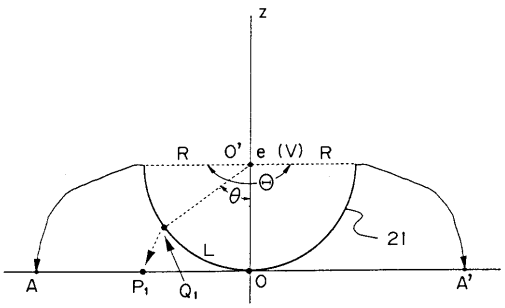
【図２】



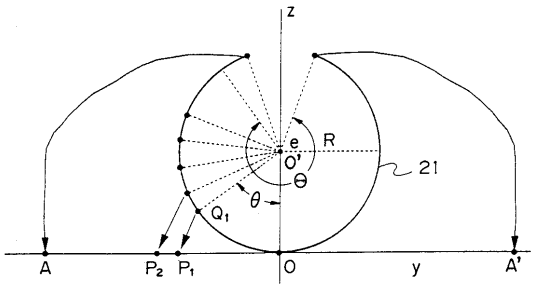
【図３】


z
V
Ⅱ
e
R
R
O'
I
θ
21
Q₁
L
Q
X₁
O
y
L'
O"
P(η₁, ξ₁)
4
x

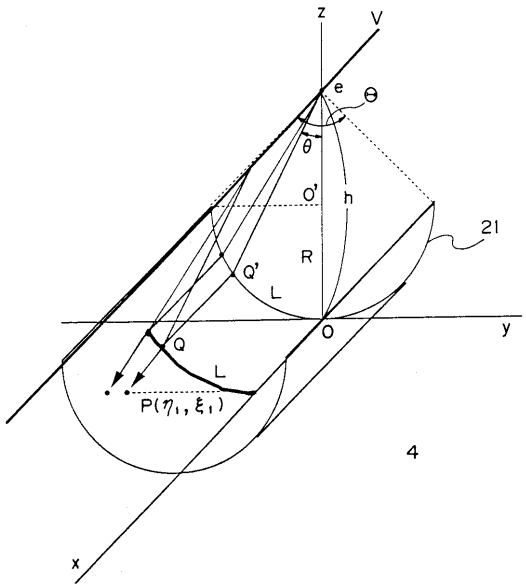
【図４】


z
R
O'
e (V)
R
Θ
θ
21
L
A
P₁
Q₁
O
A'

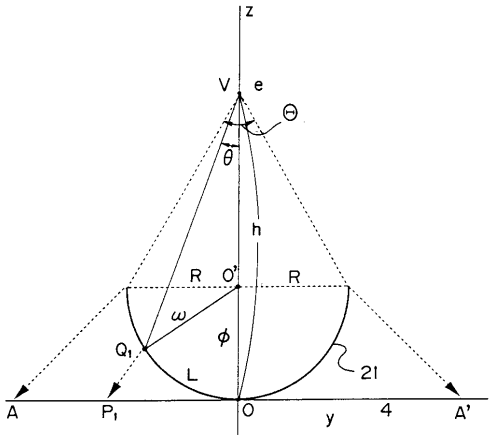
【図５】


z
e
R
O'
21
Θ
θ
Q₁
A
P₂
P₁
O
y
A'

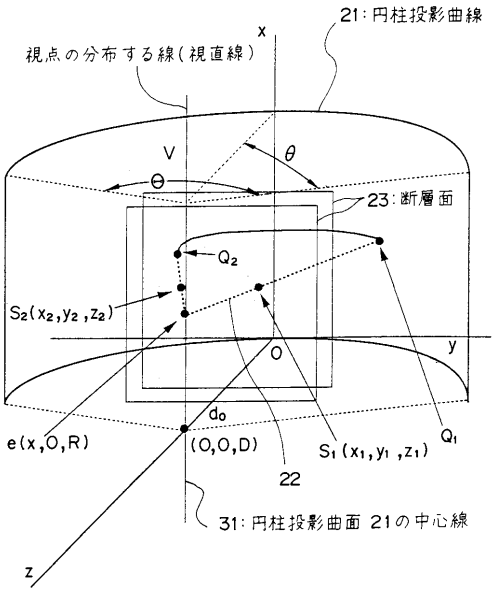
【図６】


z
V
e
Θ
θ
O'
h
21
R
Q'
L
Q
O
y
L
P(η₁, ξ₁)
4
x

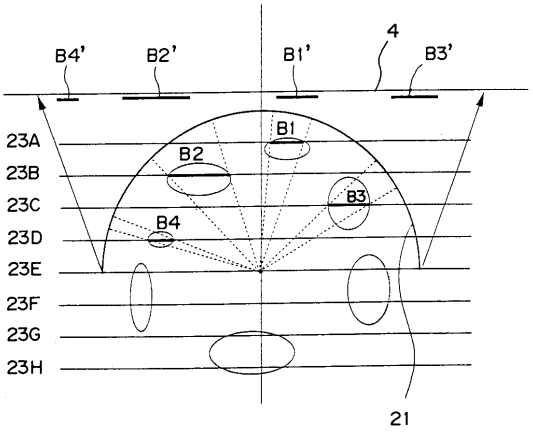
【図７】


z
V
e
Θ
θ
h
R
O'
R
ω
φ
Q₁
L
21
A
P₁
O
y
4
A'

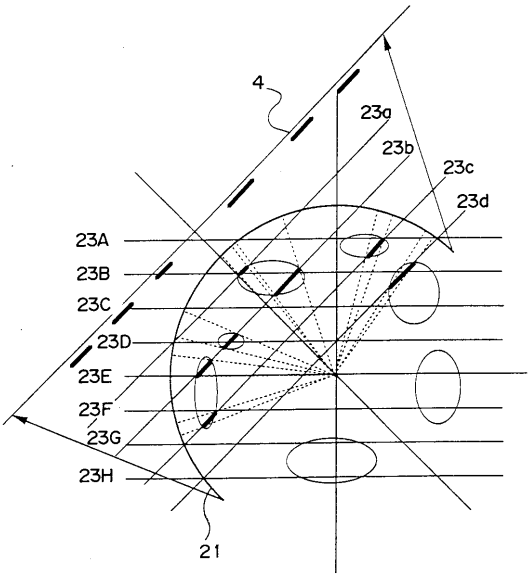
【図８】


21：円柱投影曲線
x
視点の分布する線（視直線）
V
θ
Θ
23：断層面
Q2
S2(x2,y2,z2)
y
O
do
e(x,O,R)
(O,O,D)
S1(x1,y1,z1)
Q1
22
31：円柱投影曲面 21の中心線
z

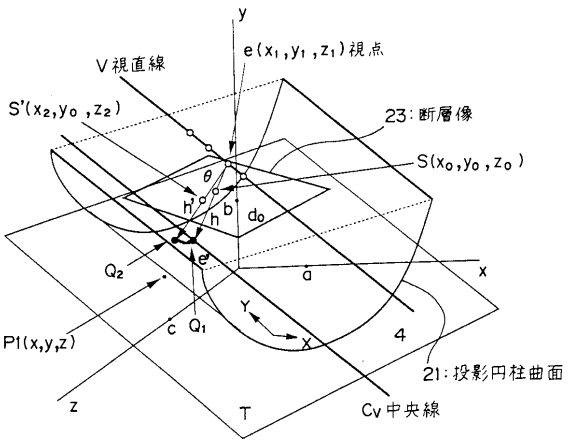
【図９】


4
B4'
B2'
B1'
B3'
B1
B2
B3
B4
23A
23B
23C
23D
23E
23F
23G
23H
21

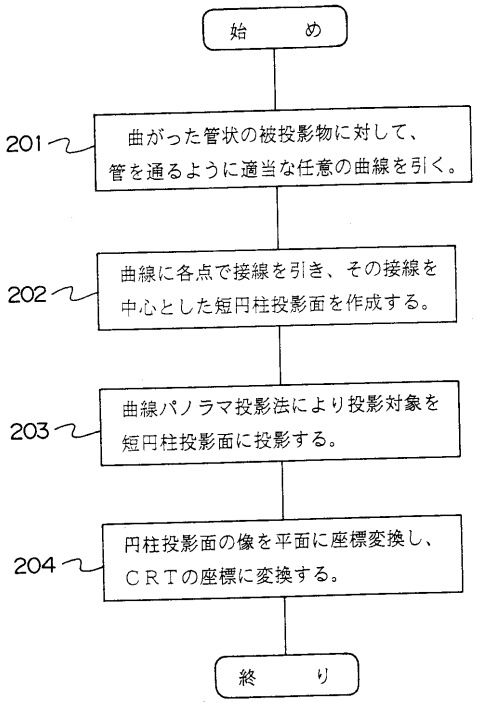
【図１０】


4
23a
23b
23c
23d
23A
23B
23C
23D
23E
23F
23G
23H
21

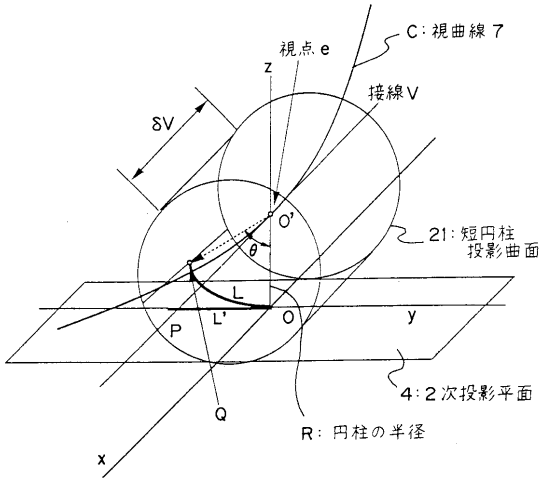
【図１１】


y
e(x1,y1,z1)視点
V視直線
S'(x2,yo,z2)
23：断層像
S(xo,yo,zo)
θ
h'
h
b
do
e'
Q2
a
x
P1(x,y,z)
c
Q1
Y
X
4
21：投影円柱曲面
z
T
Cv中央線

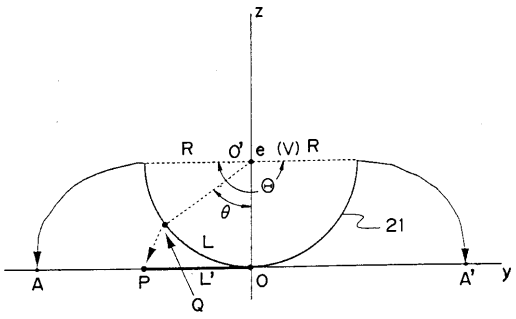
【図１２】



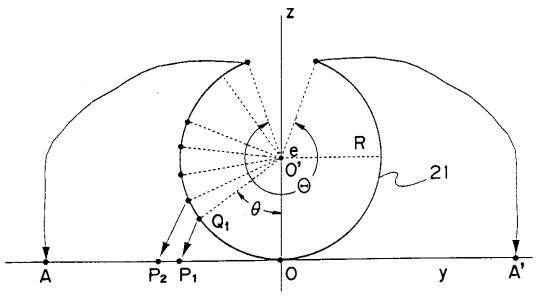
【図１３】



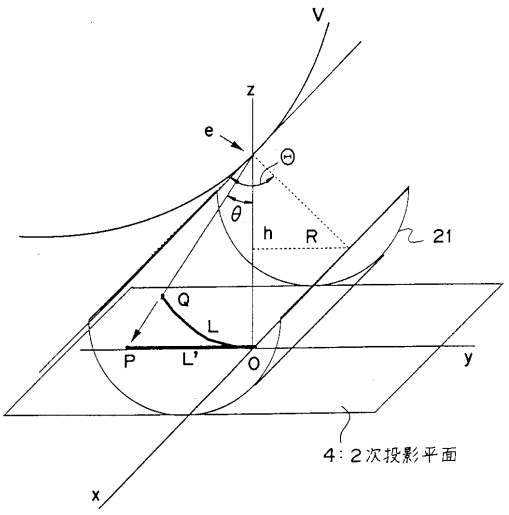
【図１４】



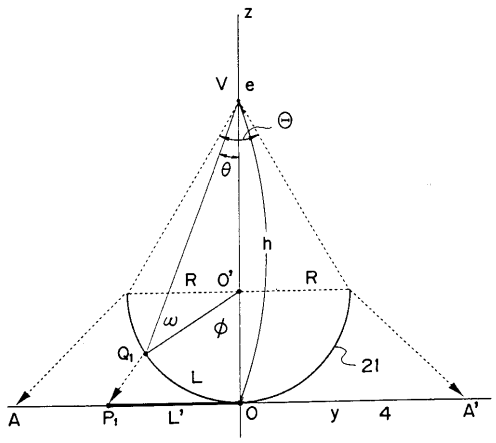
【図１５】



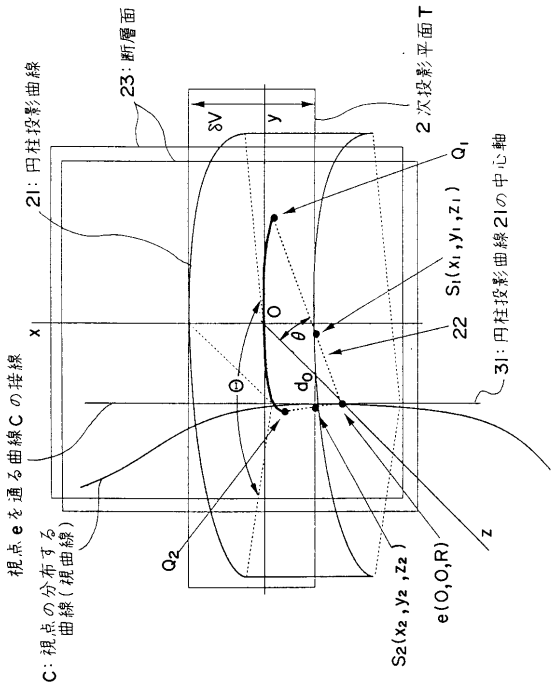
【図１６】



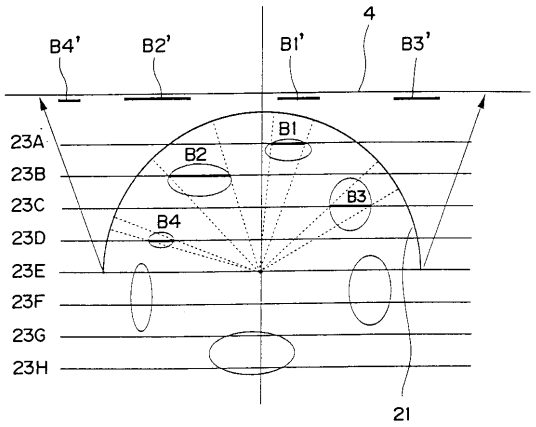
【図１７】



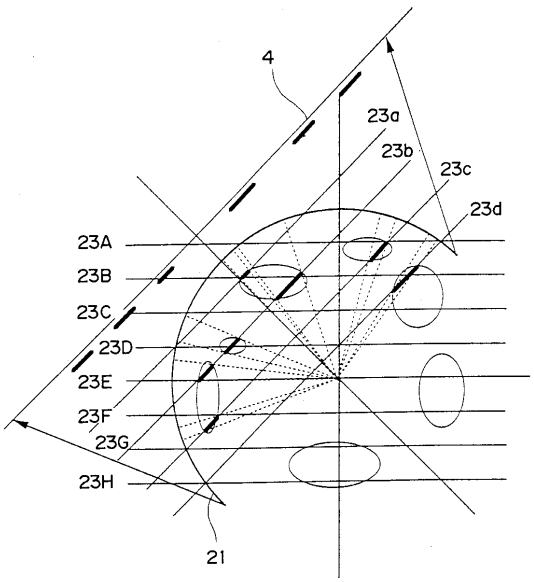
【図１８】



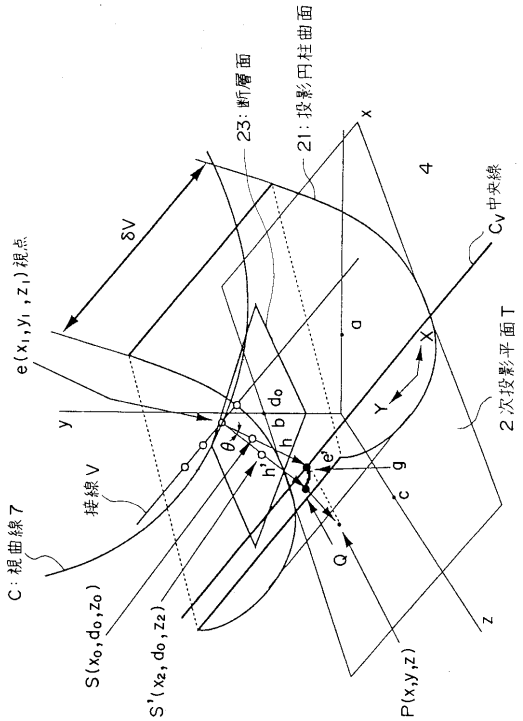
【図１９】



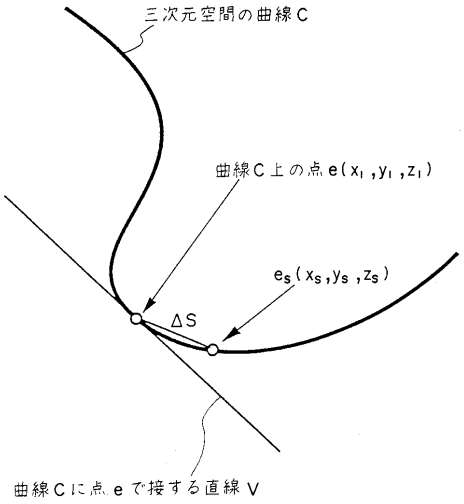
【図２０】



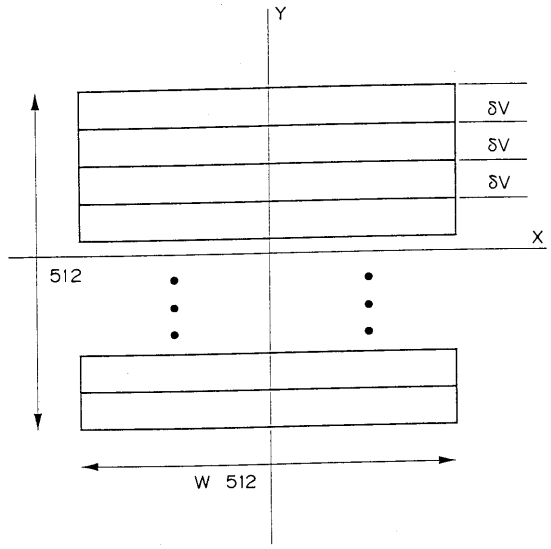
【図２１】



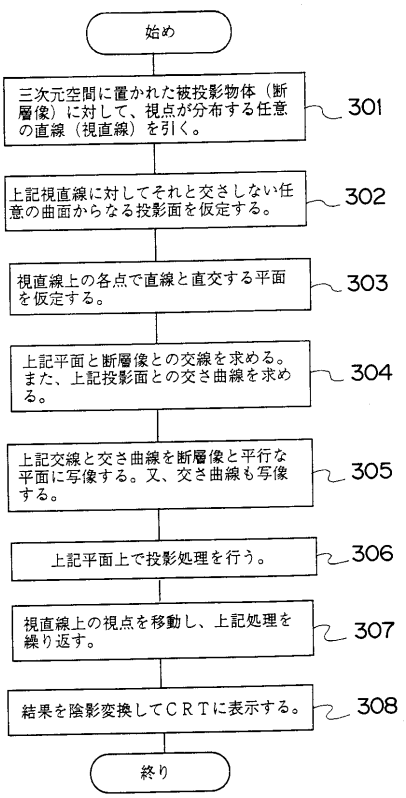
【図２２】



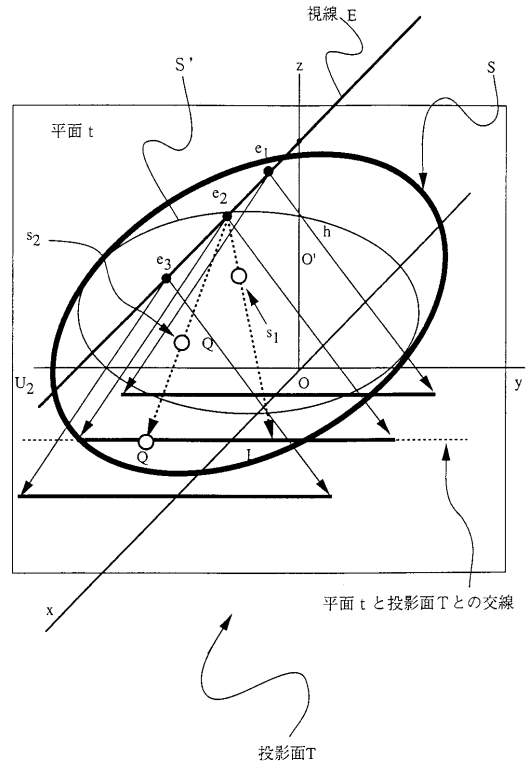
【図２３】



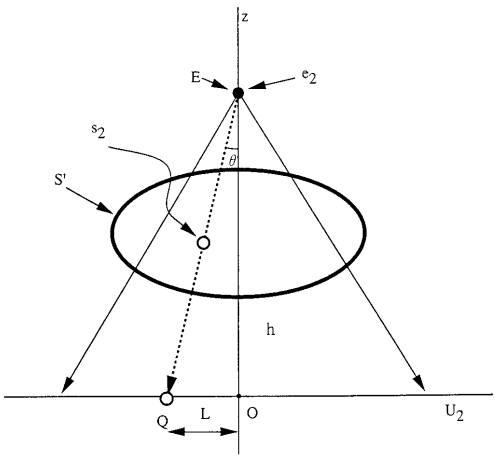
【図２４】



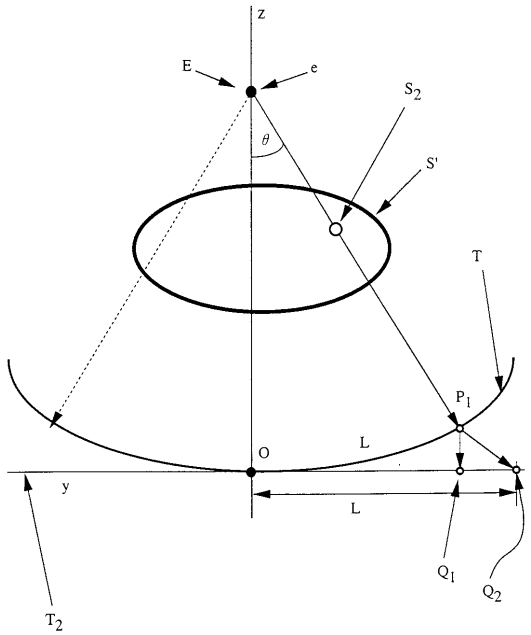
【図２５】



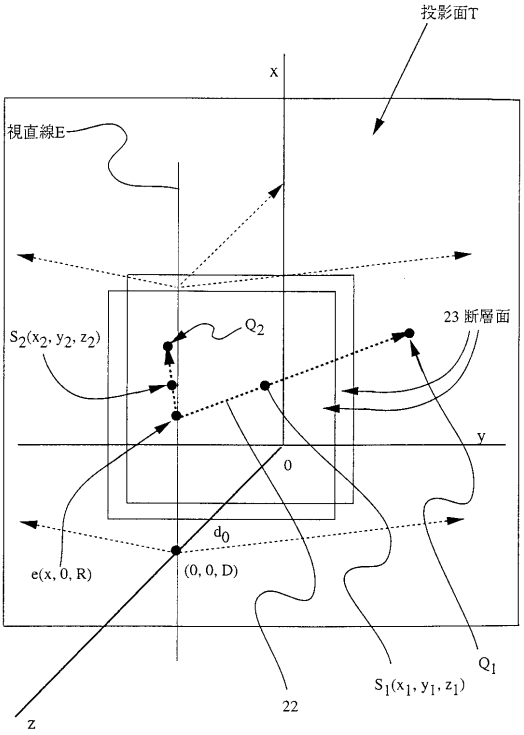
【図２６】



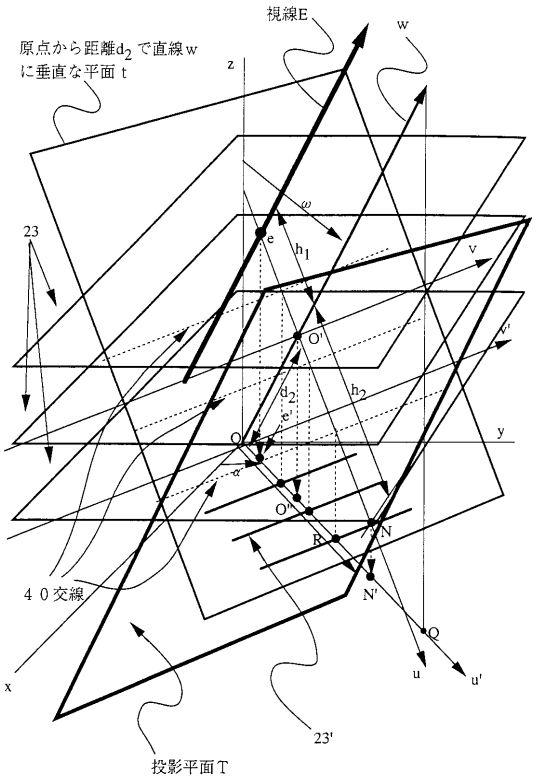
【図２７】



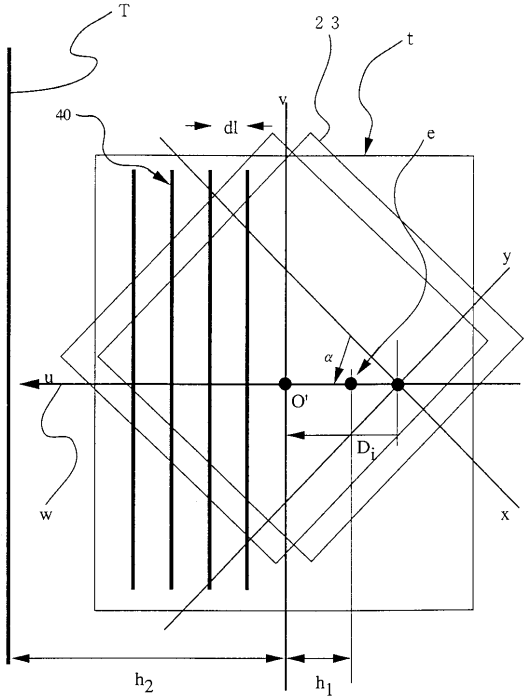
【図２８】



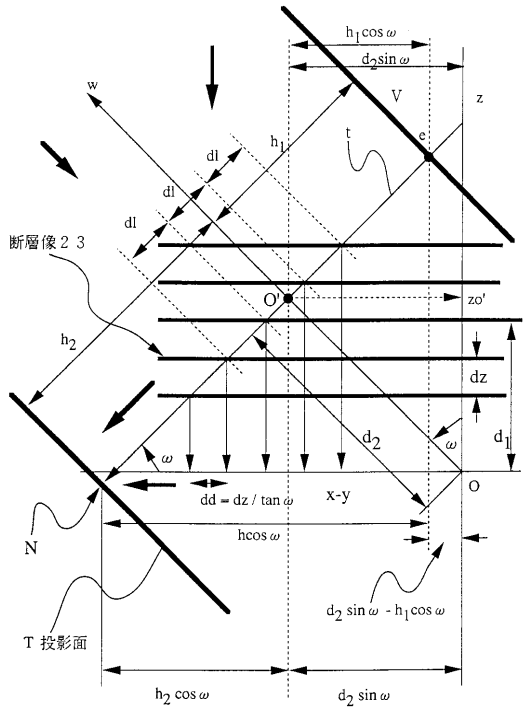
【図２９】



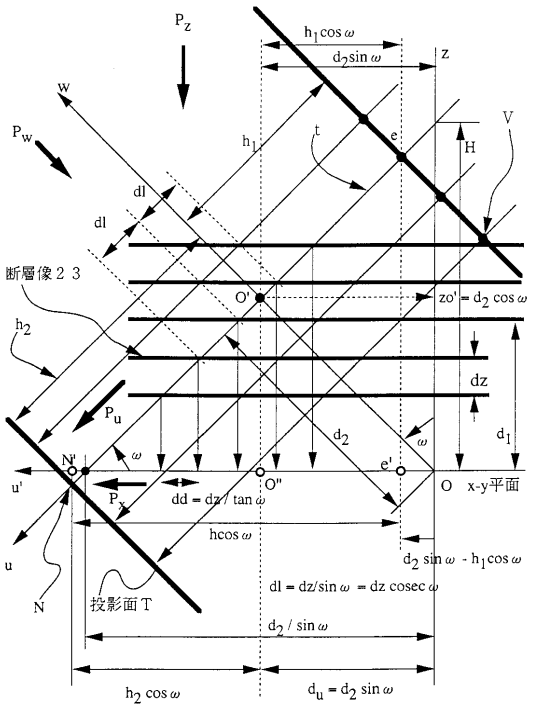
【図３０】



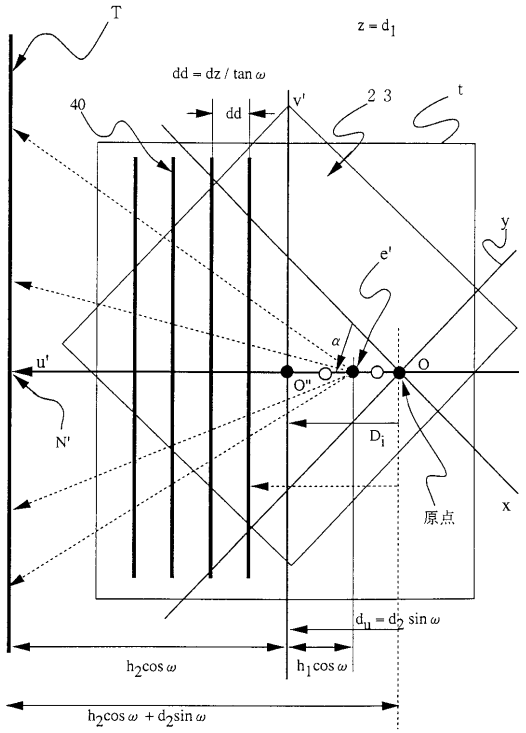
【図３１】



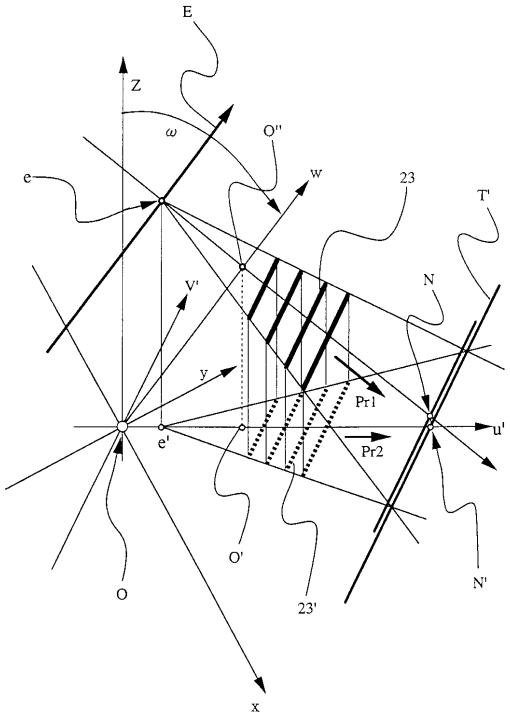
【図３２】



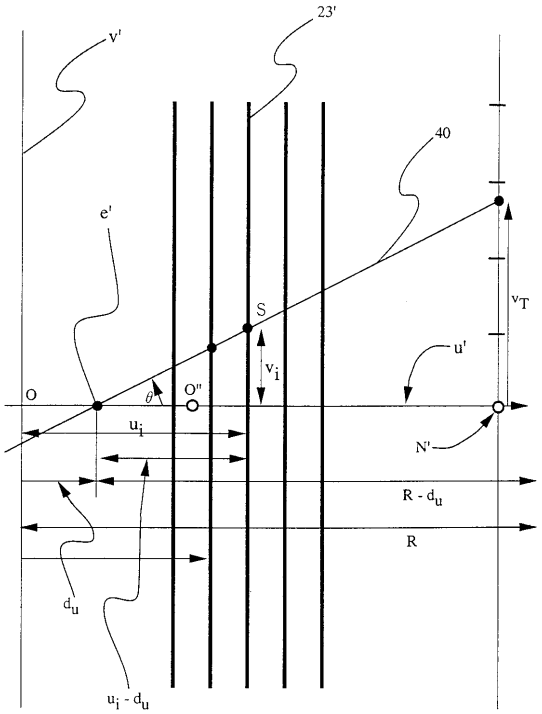
【図３３】



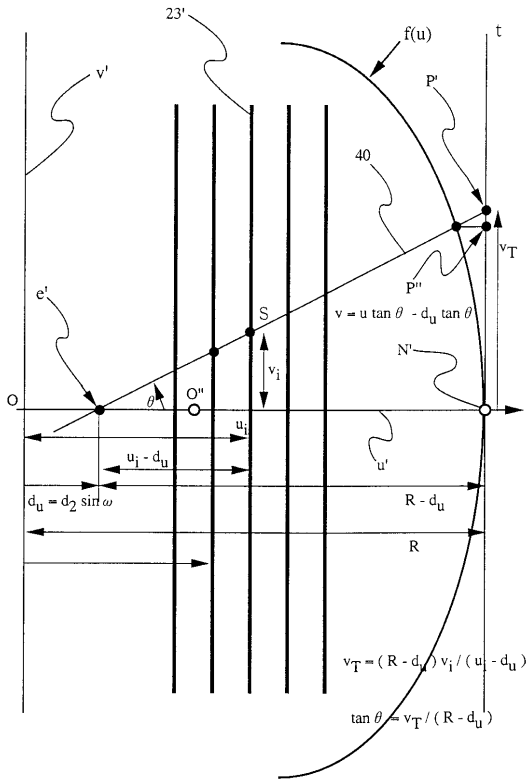
【図３４】



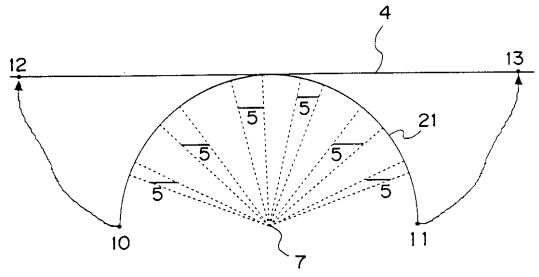
【図３５】



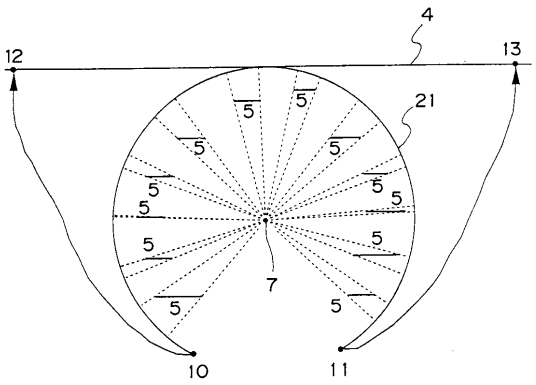
【図３６】



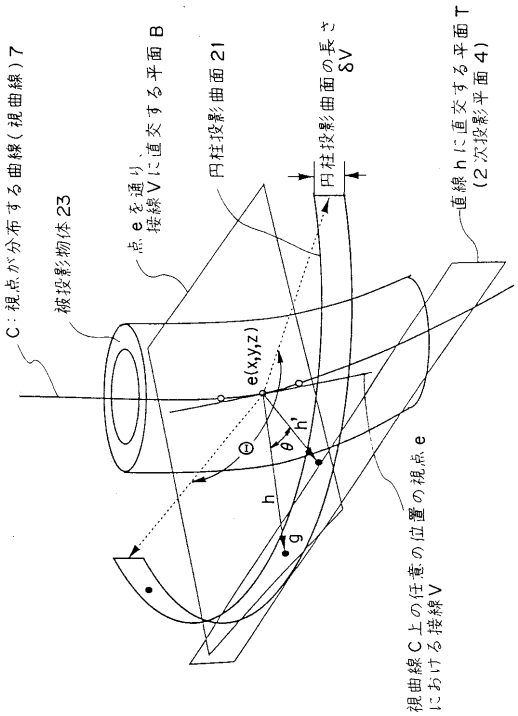
【図３７】



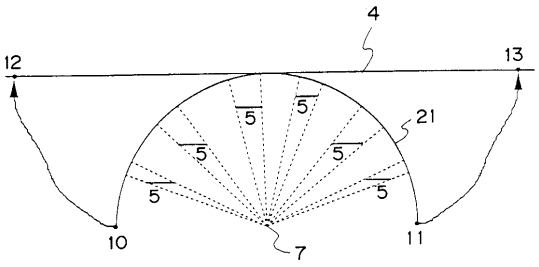
【図３８】



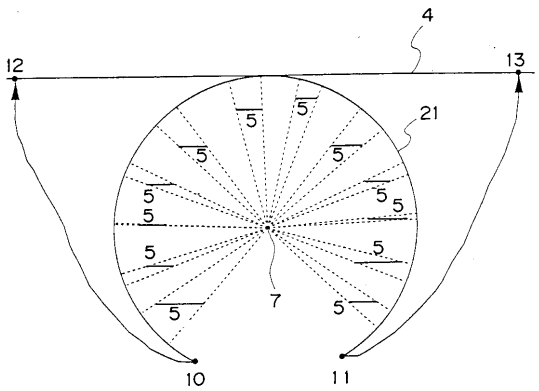
【図３９】



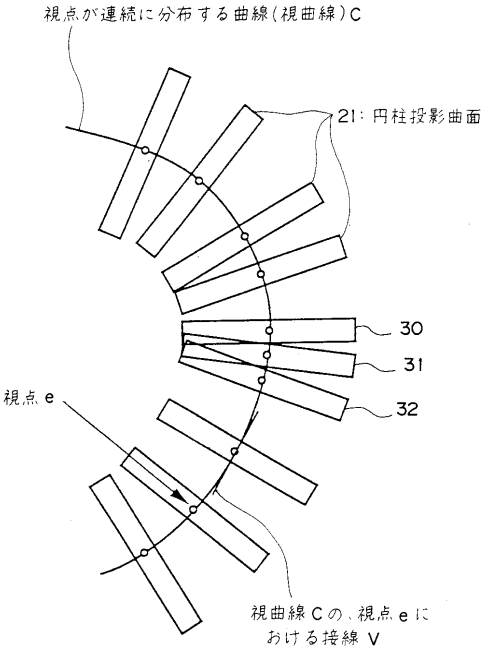
【図４０】



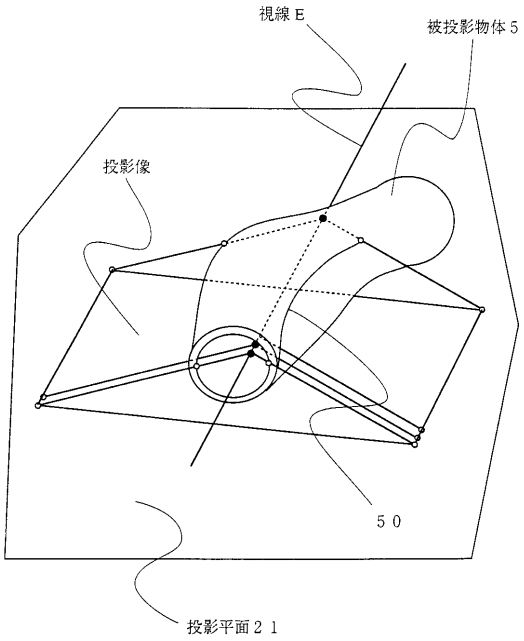
【図４１】



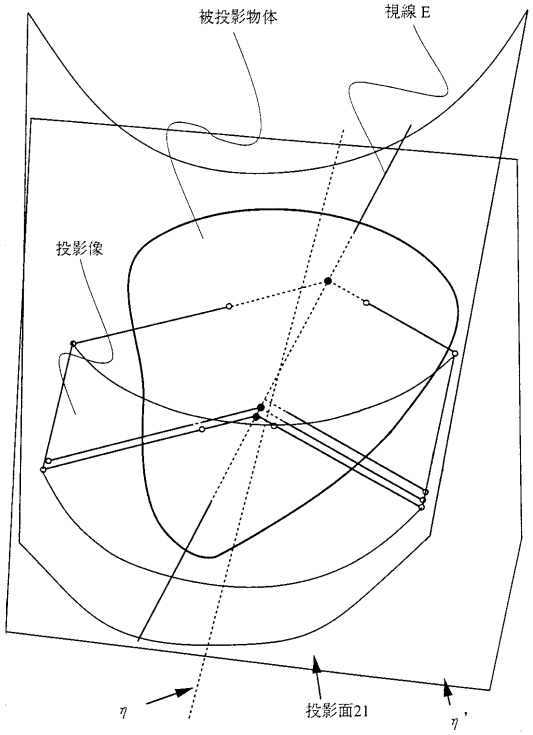
【図４２】



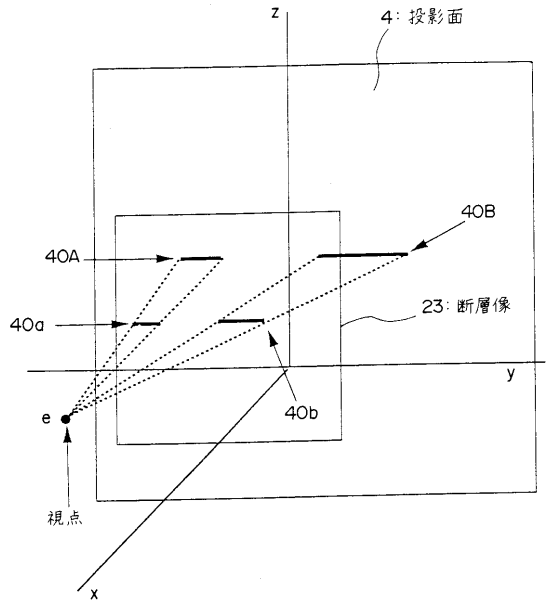
【図４３】



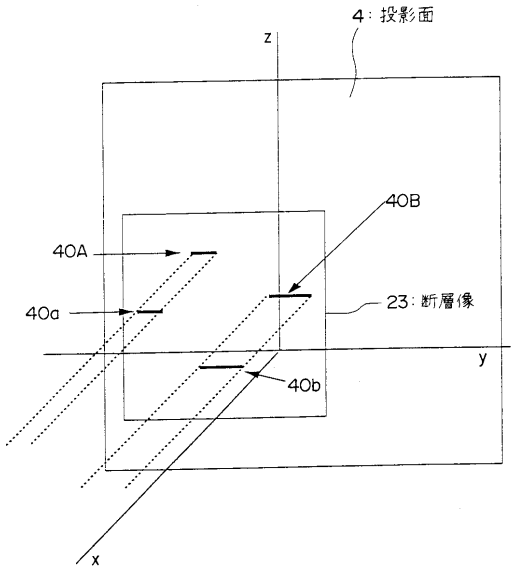
【図４４】



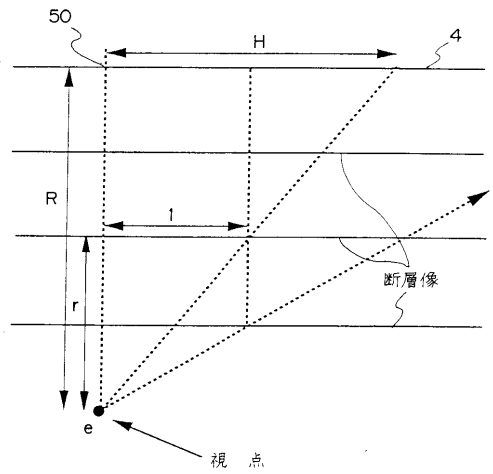
【図４５】



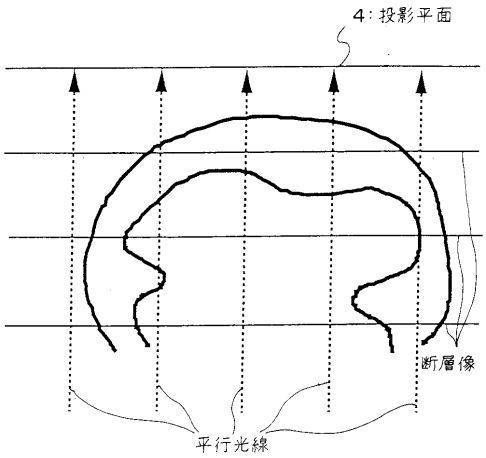
【図４６】



【図４７】



【図４８】



フロントページの続き

(56)参考文献 特開昭６３－２２３８８５（ＪＰ，Ａ）
特開平２－３３６８１（ＪＰ，Ａ）

(58)調査した分野(Int.Cl.[7]，ＤＢ名)
G06T 15/00
G06T 3/00
G06T 17/40
A61B 6/00 - 6/14
CSDB(日本国特許庁)