

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第4220934号
(P4220934)

(45) 発行日 平成21年2月4日(2009.2.4)

(24) 登録日 平成20年11月21日(2008.11.21)

(51) Int.Cl. F 1
A 6 1 B 8/00 (2006.01) A 6 1 B 8/00

請求項の数 9 (全 23 頁)

(21) 出願番号	特願2004-148833 (P2004-148833)	(73) 特許権者	390029791 アロカ株式会社 東京都三鷹市牟礼6丁目2番1号
(22) 出願日	平成16年5月19日(2004.5.19)	(74) 代理人	100075258 弁理士 吉田 研二
(65) 公開番号	特開2005-328956 (P2005-328956A)	(74) 代理人	100096976 弁理士 石田 純
(43) 公開日	平成17年12月2日(2005.12.2)	(72) 発明者	赤羽 睦弘 東京都三鷹市牟礼6丁目2番1号 アロカ株式会社内
審査請求日	平成18年1月10日(2006.1.10)	審査官	松谷 洋平

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 超音波診断装置及びエコーデータ処理方法

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

三次元空間に超音波を送受波して走査面を形成し、複数の走査面に対応した複数のフレームデータを取得する送受波手段と、

前記複数のフレームデータが格納されるフレームメモリと、

所定のデータ集合を転送単位とするデータ転送を繰り返し実行し、前記フレームメモリから複数のフレームデータを転送するデータ転送手段と、

前記転送された複数のフレームデータに基づいて三次元画像を形成する三次元画像形成手段と、

を有し、

前記各フレームデータは、複数のエコーデータで構成され、

前記所定のデータ集合は、前記フレームメモリ内において連続的に格納された複数のエコーデータで構成され、

前記三次元画像形成手段は、

前記三次元空間に対応するデータ空間に対して複数のレイを設定するレイ設定部と、

前記データ空間内に処理プレーンを設定し、これを前記繰り返し実行されるデータ転送に従って段階的に移動させる処理プレーン設定部と、

段階的に移動する処理プレーンの各移動位置ごとに、前記複数のフレームデータから処理プレーン上のボクセルデータを演算し、処理プレーンの移動に従って各レイごとにボクセル演算を進行させるボクセル演算部と、

を含み、

前記各レイごとの最後のボクセル演算の結果として前記三次元画像が構成されることを特徴とする超音波診断装置。

【請求項 2】

請求項 1 に記載の超音波診断装置において、
前記所定のデータ集合は、1 または複数のフレームデータで構成される、
ことを特徴とする超音波診断装置。

【請求項 3】

請求項 1 に記載の超音波診断装置において、
前記処理プレーンは、前記データ空間の所定軸に直交する平面である、
ことを特徴とする超音波診断装置。

10

【請求項 4】

請求項 1 に記載の超音波診断装置において、
前記三次元画像形成手段は、前記複数のフレームデータから補間処理によってボクセルデータを算出する、
ことを特徴とする超音波診断装置。

【請求項 5】

請求項 4 に記載の超音波診断装置において、
前記三次元画像形成手段は、前記複数のフレームデータを走査面の位置に応じて前記データ空間内に配置した際に、前記データ空間の座標であるボクセル座標の近傍に配置される複数のフレームデータから、そのボクセル座標に対応するボクセルデータを算出する、
ことを特徴とする超音波診断装置。

20

【請求項 6】

請求項 5 に記載の超音波診断装置において、
前記三次元画像形成手段は、前記複数のフレームデータに含まれるエコーデータであってボクセル座標の近傍に存在するエコーデータから、そのボクセル座標に対応するボクセルデータを算出する、
ことを特徴とする超音波診断装置。

【請求項 7】

請求項 6 に記載の超音波診断装置において、
前記三次元画像形成手段は、
前記各レイごとに、それが前記データ空間に対して最初に通過する点として、前記データ空間における第 1 軸上の初期座標、第 2 軸上の初期座標及び第 3 軸上の初期座標を演算する初期座標演算部と、

30

前記第 1 軸の刻み成分、前記第 2 軸の刻み成分及び前記第 3 軸の刻み成分を演算する刻み成分演算部と、

前記各レイごとに、前記第 1 軸上の初期座標、前記第 2 軸上の初期座標及び前記第 3 軸上の初期座標に対して、それぞれ前記第 1 軸上の刻み成分、前記第 2 軸上の刻み成分及び前記第 3 軸上の刻み成分を累積的に加算することにより、前記各レイ上におけるボクセル演算対象座標を特定する対象座標特定部と、

40

前記段階的に移動する処理プレーン上において前記ボクセル演算対象座標に該当するボクセルデータを前記補間処理により生成する補間処理部と、

を含むことを特徴とする超音波診断装置。

【請求項 8】

請求項 7 に記載の超音波診断装置において、
前記三次元画像形成手段は、並列動作する複数の三次元画像形成モジュールを含み、
前記複数のレイが複数のグループに区分され、
前記各三次元画像形成モジュールがそれに対応付けられたグループについてボクセル演算を担当する、

ことを特徴とする超音波診断装置。

50

【請求項 9】

複数の走査面に対応した複数のフレームデータが格納されたフレームメモリから画像処理プロセッサ内の内部メモリへ前記複数のフレームデータを転送する転送工程と、

前記転送された複数のフレームデータを用いて、ボリュームレンダリング法に基づいて三次元画像を形成する画像形成工程と、

を有し、

前記転送工程は、前記各フレームデータを構成する複数のエコーデータであって前記フレームメモリ内において連続的に格納された複数のエコーデータからなるデータ集合を転送単位とするデータ転送の工程を含み、

前記画像形成工程は、

データ空間に対して複数のレイを設定する工程と、

前記データ空間内に処理プレーンを設定し、これを繰り返し実行される前記データ転送に従って段階的に移動させる工程と、

段階的に移動する処理プレーンの各移動位置ごとに、前記複数のフレームデータから処理プレーン上のボクセルデータを演算し、処理プレーンの移動に従って各レイごとにボクセル演算を進行させ、これにより、各レイごとの最後のボクセル演算の結果として前記三次元画像を構成する画素値を求める工程と、

を含む、

ことを特徴とするエコーデータ処理方法。

10

20

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は超音波診断装置及びエコーデータ処理方法に関し、特に、メモリに格納されたエコーデータから得られるボリュームデータに基づいて三次元画像を形成する技術に関する。

【背景技術】

【0002】

超音波診断装置において三次元超音波画像を形成する場合、生体内の三次元送受波空間に対して超音波が送受波されてフレームデータが取得され、さらに、複数のフレームデータからボリュームデータが取得される。ボリュームデータは、複数のボクセルデータによって構成されるものである。そのようなボリュームデータを用いて三次元超音波画像を形成する場合、例えば、ボリュームレンダリング法が用いられる。

30

【0003】

この手法では、一般には、三次元データ空間（ボリュームデータが存在するデータ空間）を挟むように、視点とスクリーンとが定義され、また視点からスクリーンへ複数のレイ（視線）が定義される。そして、三次元データメモリから、各レイごとにそのレイ上に存在するボクセルデータが逐次的に読み出され、各ボクセルデータに対してボクセル演算（ここでは、ボリュームレンダリング法に基づくオパシティを利用した出力光量演算）が逐次的に実行される。最終的なボクセル演算結果（出力光量）が画素値に変換され、各レイごとの画素値をスクリーン上にマッピングすれば、三次元超音波画像が構成される。

40

【0004】

従来において、三次元画像を形成する各種の演算に当たっては専用のハードウェア（機能が固定された高速演算器）を設計し、そのハードウェアで上記ボクセル演算などを実行させていた。

【0005】

その一方において、近時、プログラマブルな汎用プロセッサ（例えば、DSP（デジタル・シグナル・プロセッサ））の処理速度が向上し、機能設計やその変更が容易であることなどから、そのような汎用プロセッサを利用することが要請されている。

【0006】

50

上記の三次元画像処理を汎用プロセッサで実現する場合、一般には、 (r, \quad, \quad) 座標系の複数のフレームデータから補間処理等により (x, y, z) 座標系のボリュームデータ(複数のボクセルデータ)を生成し、生成したボリュームデータを三次元データメモリ(外部メモリ)上に格納し、汎用プロセッサからその三次元データメモリへアクセスし、各レイごとにボクセル演算で必要なボクセルデータをその都度特定してそれを汎用プロセッサに取り込む必要がある。任意位置に視点を設定できる場合、各レイはほとんどの場合にボリュームデータを斜めに通過することになるが、その場合において、各レイごとにボクセル演算を同時進行させると、複数のレイについてのボクセル演算で必要なボクセルデータ群はボリュームデータ上で様々に分布し、すなわち、三次元データメモリに対して必要なボクセルデータを得るためにランダムアクセスをする必要がある。

10

【0007】

SRAMのようなメモリデバイスが三次元データメモリとして用いられる場合にはそのようなランダムアクセスを高速に行うことができるが、一般には安価且つ集積度が高いDRAMあるいはSDRAMなどが用いられ、それらのメモリデバイスの場合にランダムアクセスを行おうとすると、読み出し時間が増大し、高速転送の要請に反する結果となる。

【0008】

下記の特許文献1には超音波診断装置においてボリュームレンダリング法を基礎として三次元超音波画像を形成する技術が開示されている。しかし、データ転送の方式や各レイごとにどのようにボクセル演算を進行させるのかについては具体的に開示されていない。また、下記の特許文献2には、キャッシュミスの発生を防止するために、特定のアドレス関係にあるデータブロックを単位として、三次元データ空間(メインメモリ)から画像処理プロセッサ内へデータ転送を行う装置が開示されている。この装置では、データの読み出し時に特別な演算を行って読み出しアドレス集合を求めており、ランダムアクセスの必要性を指摘できる。

20

【0009】

【特許文献1】特許第2883584号

【特許文献2】特開平9-134447号

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0010】

本発明の目的は、ボリュームデータに基づく三次元超音波画像の形成を能率的に行えるようにすることにある。

30

【0011】

本発明の他の目的は、外部のメモリから画像処理用のプロセッサへデータ転送を簡便かつ迅速に行えるようにすることにある。

【課題を解決するための手段】

【0012】

上記目的を達成するために、本発明の好適な態様である超音波診断装置は、三次元空間に超音波を送受波して走査面を形成し、複数の走査面に対応した複数のフレームデータを取得する送受波手段と、前記複数のフレームデータが格納されるフレームメモリと、所定のデータ集合を転送単位とするデータ転送を繰り返し実行し、前記フレームメモリから複数のフレームデータを転送するデータ転送手段と、前記転送された複数のフレームデータに基づいて三次元画像を形成する三次元画像形成手段と、を有し、前記三次元画像形成手段は、前記三次元空間に対応するデータ空間に対して複数のレイを設定するレイ設定部と、前記データ空間内に処理プレーンを設定し、これを前記繰り返し実行されるデータ転送に従って段階的に移動させる処理プレーン設定部と、段階的に移動する処理プレーンの各移動位置ごとに、前記複数のフレームデータから処理プレーン上のボクセルデータを演算し、処理プレーンの移動に従って各レイごとにボクセル演算を進行させるボクセル演算部と、を含み、前記各レイごとの最後のボクセル演算の結果として前記三次元画像が構成されることを特徴とする。

40

50

【 0 0 1 3 】

上記構成によれば、フレームメモリから画像形成手段へのデータ転送が所定のデータ集合を単位として行われ、そのデータ転送ごとに実行可能なボクセル演算が遂行される。例えば、繰り返し実行されるデータ転送に従って段階的に移動する処理プレーンごとに、複数のレイの中でボクセル演算実行可能なレイが判定され、処理プレーンの移動に従って、そのレイについてボクセル演算実行可能な座標までボクセル演算が遂行される。これにより、転送されたデータの内容に応じた極めて能率的な演算処理を実現できる。

【 0 0 1 4 】

一般に、各レイごとに同じ進行度合いでボクセル演算を実行させ、あるいは、各レイごとにその都度必要なデータを特定してそれを順次取得してボクセル演算を遂行させる場合には、どうしても複雑なアドレス演算が必要になる。これに対し、上記構成によれば、転送されたデータ集合に依拠して実行可能なボクセル演算を実行させるだけでよいので、データ転送が簡素化され、データ転送のための複雑なアドレス演算を逐次行う必要がない。

【 0 0 1 5 】

上記構成において、送受波手段は、電子走査と機械走査とを併用する送受波器、二次元的に電子走査を行う送受波器などで構成される。フレームメモリはデータのブロック転送に適するメモリで構成されるのが望ましい。複数のレイは、互いに平行に設定されてもよいし、非平行に設定されてもよい。所定のデータ集合は、望ましくはデータがメモリ上で連続するデータブロックであるが、データ転送ごとにボクセル演算を実行して最終的に三次元画像を構成できる限りにおいて、1又は複数の不連続部分を有するものであってもよい。ここで、1又は複数のフレームデータを転送単位とするのが望ましいが、三次元のデータ空間あるいはメモリアドレス空間において抜けがなく連続的に読み出しを行える限りにおいて、例えば1.5個分のフレームデータを転送単位とすることも可能である。上記の三次元画像形成手段はプログラム動作型のプロセッサで構成されるのが望ましく、その場合に、データ転送手段はそのプロセッサの機能として実現してもよい。

【 0 0 1 6 】

望ましくは、前記各フレームデータは、複数のエコーデータで構成され、前記所定のデータ集合は、前記フレームメモリ内において連続的に格納された複数のエコーデータで構成される、ことを特徴とする。望ましくは、前記所定のデータ集合は、1または複数のフレームデータで構成される、ことを特徴とする。望ましくは、前記処理プレーンは、前記データ空間の所定軸に直交する平面である、ことを特徴とする。

【 0 0 1 7 】

望ましくは、前記三次元画像形成手段は、前記複数のフレームデータから補間処理によってボクセルデータを算出する、ことを特徴とする。望ましくは、前記三次元画像形成手段は、前記複数のフレームデータを走査面の位置に応じて前記データ空間内に配置した際に、前記データ空間の座標であるボクセル座標の近傍に配置される複数のフレームデータから、そのボクセル座標に対応するボクセルデータを算出する、ことを特徴とする。望ましくは、前記三次元画像形成手段は、前記複数のフレームデータに含まれるエコーデータであってボクセル座標の近傍に存在するエコーデータから、そのボクセル座標に対応するボクセルデータを算出する、ことを特徴とする。

【 0 0 1 8 】

望ましくは、前記三次元画像形成手段は、前記各レイごとに、それが前記データ空間に対して最初に通過する点として、前記データ空間における第1軸上の初期座標、第2軸上の初期座標及び第3軸上の初期座標を演算する初期座標演算部と、前記第1軸の刻み成分、前記第2軸の刻み成分及び前記第3軸の刻み成分を演算する刻み成分演算部と、前記各レイごとに、前記第1軸上の初期座標、前記第2軸上の初期座標及び前記第3軸上の初期座標に対して、それぞれ前記第1軸上の刻み成分、前記第2軸上の刻み成分及び前記第3軸上の刻み成分を累積的に加算することにより、前記各レイ上におけるボクセル演算対象座標を特定する対象座標特定部と、前記段階的に移動する処理プレーン上において前記ボクセル演算対象座標に該当するボクセルデータを前記補間処理により生成する補間処理部

10

20

30

40

50

と、を含むことを特徴とする。

【0019】

望ましくは、前記三次元画像形成手段は、並列動作する複数の三次元画像形成モジュールを含み、前記複数のレイが複数のグループに区分され、前記各三次元画像形成モジュールがそれに対応付けられたグループについてボクセル演算を担当することを特徴とする。

【0020】

また上記目的を達成するために、本発明の好適な態様であるエコーデータ処理方法は、複数の走査面に対応した複数のフレームデータが格納されたフレームメモリから画像処理プロセッサ内の内部メモリへ前記複数のフレームデータを転送する転送工程と、前記転送された複数のフレームデータを用いて、ボリュームレンダリング法に基づいて三次元画像を形成する画像形成工程と、を有し、前記転送工程は、前記各フレームデータを構成する複数のエコーデータであって前記フレームメモリ内において連続的に格納された複数のエコーデータからなるデータ集合を転送単位とするデータ転送の工程を含み、前記画像形成工程は、データ空間に対して複数のレイを設定する工程と、前記データ空間内に処理プレーンを設定し、これを繰り返し実行される前記データ転送に従って段階的に移動させる工程と、段階的に移動する処理プレーンの各移動位置ごとに、前記複数のフレームデータから処理プレーン上のボクセルデータを演算し、処理プレーンの移動に従って各レイごとにボクセル演算を進行させ、これにより、各レイごとの最後のボクセル演算の結果として前記三次元画像を構成する画素値を求める工程と、を含む、ことを特徴とする。

【発明の効果】

【0021】

以上説明したように、本発明によれば、ボリュームデータに基づく三次元超音波画像の形成を能率的に行える。本発明によれば、外部のメモリから画像処理用のプロセッサへデータ転送を簡便かつ迅速に行える。

【発明を実施するための最良の形態】

【0022】

以下、本発明の好適な実施形態を図面に基づいて説明する。

【0023】

図1には、ボリュームレンダリング法の原理が示されている。三次元データ空間36は、超音波ビームを二次元走査することによって取得されたボリュームデータを有し、超音波診断装置内において仮想的に構築される。ここでは、三次元データ空間36は、 x 、 y 、 z の互いに直交する座標軸を有し、三次元データ空間36内の各座標にはボクセルデータ(エコーデータ)が存在する。なお、三次元の超音波送受波空間が r 、 θ 、 ϕ の極座標空間として構成される場合には、各ボクセルデータに対して、それが有する (r, θ, ϕ) の座標を (x, y, z) の座標に変換される。

【0024】

ボリュームレンダリングに際しては、通常、三次元データ空間36の外側に仮想的に視点が設定され、三次元データ空間を間に介して、視点と反対側に二次元平面としてのスクリーン40が仮想的に設定される。その視点を基準として複数のレイ(視線)が定義される(図1には1つのレイ38が代表として示されている)。レイ38は、三次元データ空間36を貫通し、このため、レイ38には複数のボクセルデータからなるボクセルデータ列が対応することになる。レイ38に沿って、視点側から各エコーデータごとにボリュームレンダリング法に基づくボクセル演算を逐次的に実行すると、最終のボクセル演算の結果として画素値が決定される。その画素値がスクリーン上における当該レイ38に対応する座標Pにマッピングされる。

【0025】

スクリーンは、 X 、 Y の座標軸を有し、すなわち各座標は X 、 Y の座標で定義される。各座標ごとにレイが設定されており、上記のように、各レイについて求められた画素値をスクリーン40上にマッピングすることにより、そのスクリーン上に三次元画像が形成される。なお、複数のレイが互いに平行の場合もあるが、複数のレイが互いに非平行となる

10

20

30

40

50

場合もある。

【 0 0 2 6 】

ボリュームレンダリング法において、各エコーデータごとのボクセル演算の演算式としては各種のものが知られている。基本的には、いずれの演算式においても、各エコーデータのボクセル演算ごとに、不透明度（オパシティ）がパラメータとして利用される。そのようなパラメータを利用して、各ボクセル演算ごとに出力光量（出力値）が求められ、それが次のボクセル演算において入力光量（入力値）として利用される。そして、これが繰り返され、演算終了条件を満たした時点での出力光量が画素値に変換される。つまり、媒体中を光が散乱、減衰しながら伝搬するモデルを基礎とするものである。本実施形態では、ボクセル演算の演算式として、例えば、次の（１）式が用いられる。

10

【 0 0 2 7 】

【数 1】

$$C_{outi} = C_{ini} + E_j * \alpha_j * (1 - \alpha_{ini})$$

$$\alpha_{outi} = \alpha_{ini} + \alpha_j * (1 - \alpha_{ini})$$

C_{outi} : i番目のボクセルの出力値

C_{ini} : i番目のボクセルへの入力値

E_j : i番目のボクセルのエコー値

α_j : i番目のボクセルの不透明度

20

エコー値と関係づけられ、 $0.0 \leq \alpha_j \leq 1.0$ の値を取る

α_{ini} : i番目のボクセルへの不透明度入力値

α_{outi} : i番目のボクセルからの不透明度出力値

もちろん、上記の（１）式以外を用いるようにしてもよく、例えば、上記特許文献 1 に記載されたような演算式を用いてもよい。各レイごとのボクセル演算は、例えば、その対象座標が三次元データ空間を越えた場合、又は、各ボクセル演算で用いた不透明度の累積加算値が所定値（例えば 1）を越えた場合など、所定の条件を満たす場合に終了する。そして、演算終了時点の出力光量が画素値に対応付けられる。

30

【 0 0 2 8 】

なお、本実施形態に係るデータ転送及び処理方法は、上記のようなボリュームレンダリング法による画像処理を行う場合に特に好適であるが、各レイに沿って逐次演算を行う画像処理法にも適用可能である。例えば、積算法、最大値や最小値の検出法などである。

【 0 0 2 9 】

図 2 には、本実施形態に係る超音波診断装置の全体構成がブロック図として示されている。3Dプローブ 10 は、三次元エコーデータ取得用の超音波探触子である。この 3Dプローブ 10 は、体表面上に当接して用いられ、あるいは体腔内に挿入して用いられる。この 3Dプローブ 10 によって超音波ビームが形成され、この超音波ビームは二次元走査される。この超音波ビームの二次元走査によって三次元の送受波空間 12 が形成される。

40

【 0 0 3 0 】

送受波空間 12 は、ここでは r , θ , ϕ の 3 つの座標によって定義される三次元空間であり、例えば超音波ビーム B を θ 方向に走査すると走査面 S が形成され、この走査面 S を ϕ 方向に走査すると三次元の送受波空間 12 が構成される。3Dプローブ 10 は、電子走査と機械走査とを組み合わせただのものであってもよいし、超音波ビームを二次元的に電子走査するものであってもよい。後者の場合には公知の 2D アレイ振動子が用いられる。なお、図 2 においては角錐形状をもった送受波空間 12 が示されているが、その送受波空間 12 の形態は立方体であってもよく、あるいはそれ以外であってもよい。

50

【 0 0 3 1 】

送信部 1 4 は送信ビームフォーマーとして機能する。すなわち、送信部 1 4 はアレイ振動子を構成する複数の振動素子の各々に対して送信信号を供給する。また、受信部 1 6 は受信ビームフォーマーとして機能し、アレイ振動子を構成する複数の振動素子の各々からの受信信号に対して整相加算処理を実行する。これによって各超音波ビームごとに受信部 1 6 から受信信号が出力される。受信部 1 6 は A / D 変換器を有しており、受信部 1 6 から出力される整相加算後の受信信号はデジタルデータである。ここで、各データはボクセルデータ (エコーデータ) に相当する。

【 0 0 3 2 】

任意断面作成部 1 8 は、走査面 S に対応する二次元断層画像 (B モード画像) を形成するモジュールである。この任意断面作成部 1 8 は例えば従来から用いられているデジタルスキャンコンバータなどによって構成される。任意断面作成部 1 8 は任意の走査面 S において r , θ 座標を x , y 座標に変換する処理、その他の補間処理などを実行する。この任意断面作成部 1 8 により形成された二次元断層画像のデータは表示処理部 2 0 へ出力される。

10

【 0 0 3 3 】

2 D 変換部 2 2 は、受信部 1 6 から出力される各走査フレームごとの複数のエコーデータ、つまりフレームデータに対して二次元の座標変換を実行する。各エコーデータは r , θ で定義される極座標を有しており、その座標を x , y の直角座標に変換する。一般に直角座標は x , y で表現されるが、ここでは、三次元データ空間 3 6 の座標系と区別するためにフレームデータ内の直角座標を x' , y' と表現する。座標変換後のフレームデータはフレームメモリ 2 4 上に格納される。

20

【 0 0 3 4 】

フレームメモリ 2 4 は、後述する 3 D プロセッサ 2 6 においてボクセルデータを生成するために必要なフレームデータを格納するメモリである。フレームメモリ 2 4 の各アドレスは、後に図 3 を利用して詳述するフレームデータ空間における各座標に対応付けられている。そして、入力される各フレームデータ内のエコーデータはそれが有する三次元座標に対応付けられたアドレスに格納される。フレームメモリ 2 4 は、後述する 3 D プロセッサ 2 6 との関係から見れば外部メモリに相当しており、このフレームメモリは例えば D R A M などによって構成され、特に S D R A M などによって構成されるのが望ましい。すなわち、後述するように記憶されたデータを所定データ単位でブロック転送可能なメモリを用いるのが望ましい。この場合においてブロック転送の方式としては D M A 転送方式を用いることができる。

30

【 0 0 3 5 】

3 D プロセッサ 2 6 は、本実施形態においてはプログラム動作する C P U や D S P (デジタル・シグナル・プロセッサ) などによって構成されるものであり、その内部には内部メモリ 2 8 が設けられている。内部メモリ 2 8 は、3 D プロセッサ 2 6 内におけるキャッシュメモリとして機能し、3 D プロセッサ 2 6 はその内部メモリ 2 8 に対して高速でアクセスすることが可能である。その一方において、フレームメモリ 2 4 から内部メモリ 2 8 へのデータ転送は一般にあまり高速に行うことができない。

40

【 0 0 3 6 】

3 D プロセッサ 2 6 は、本実施形態において D M A コントローラを内蔵しており、その D M A コントローラによってフレームメモリ 2 4 から内部メモリ 2 8 へデータを D M A 転送することができる。符号 2 5 で示すように、3 D プロセッサ 2 6 がフレームメモリ 2 4 へのデータの書き込みを制御するようにしてもよく、その場合においては 2 D 変換部 2 2 から出力されるフレームデータが一旦 3 D プロセッサ 2 6 に取り込まれた後に、それを経由してフレームメモリ 2 4 へ格納される。もちろん、フレームメモリ 2 4 へのデータの書き込みは他のプロセッサが行ってもよく、図 2 に示される制御部 3 2 の機能としてそれを実現するようにしてもよい。

【 0 0 3 7 】

50

本実施形態においては、後に詳述するように、フレームメモリ24から内部メモリ28へのデータ転送は所定のデータ集合、具体的には処理プレーンを形成するために必要なフレームデータを単位として実行されており、その場合においてはレイの向きなどが考慮され、ボクセル演算に必要なフレームデータが適切に選択される。3Dプロセッサ26においては、従来のように各レイごとにボクセル演算を同時進行で進めるのではなく、送られてきたフレームデータを用いて補間演算により各レイ上のボクセルデータを算出することにより実行可能なボクセル演算が順次実行される。したがって、三次元データ空間とレイの交差関係にもよるが、通常は、各レイごとにボクセル演算の進行度合いは区々である。

【0038】

このような手法を用いることにより、フレームメモリ24から内部メモリ28への転送単位を画的に設定することができ、その上で得られたボクセルデータを用いて各レイごとにボクセル演算を進行させることができる。3Dプロセッサ26は内部メモリ28に対して高速にアクセスすることができるため、内部メモリ28へのランダムアクセスは格別動作上の負担とはならないが、一般的には、3Dプロセッサ26からフレームメモリ24へのランダムアクセスはデータ転送レートが低いなどの理由から画像処理上のボトルネックとなる。これに対し、本実施形態の手法によれば、フレームメモリ24から内部メモリ28へのデータのブロック転送を行わせることによりそのような問題を回避しつつ、能率的に画像処理を進めることが可能となる。さらに本実施形態の手法によれば、レイが通過するボクセルデータのみが補間処理により生成されるため、三次元空間内の全てのボクセルデータを補間処理で生成する場合に比べて、補間処理の演算量を低減することができる。

【0039】

本実施形態において、3Dプロセッサ26はボクセル演算の演算式として例えば上記(1)式に示したものを利用している。したがって、各レイごとにその演算式が順次実行され、終了条件を満たした時点での出力値が画素値に変換される。その画素値は3Dプロセッサ26から表示処理部20に設けられたメモリ上に格納される。もちろん、そのようなメモリを3Dプロセッサ26内に設けることも可能である。いずれにしても、各レイごとにボクセル演算を繰り返し実行することによりスクリーン上に三次元画像が構成されることになる。

【0040】

表示処理部20は画像データとグラフィックデータの合成機能やその他の表示処理機能を有しており、装置の動作モードに応じて、表示部30に対して二次元断層画像のデータあるいは三次元画像のデータを出力する。表示部30は二次元断層画像及び三次元画像の両方又は一方が表示されることになる。

【0041】

制御部32はCPU及びそのための動作プログラムによって構成され、図2に示される各構成の動作制御を行っている。その制御部32には操作パネルによって構成される入力部34が接続されている。ユーザーはその入力部34を用いてモードの選択やパラメータの指定などの各種の入力操作を行うことができる。ちなみに、ドブラ処理を行う構成などに関しては図2において図示省略されている。以下、図2に示した部分には図2の符号を付して本実施形態の手法について詳述する。

【0042】

図3には、フレームメモリ24上に仮想的に構築されるフレームデータ空間37が示されている。このフレームデータ空間37は複数のフレームデータによって形成され、複数のフレームデータのエコーデータがそれに対応付けられた座標に格納されている。つまり、各フレームデータにおいて軸方向に並ぶエコーデータのアドレスが $0 \sim n - 1$ で定義され、軸方向に並ぶエコーデータのアドレスが $0 \sim m - 1$ で定義され、さらに、フレームを特定するアドレスが $0 \sim k - 1$ で定義されている。なお、フレームメモリ24には、図1の三次元データ空間36内の全てのフレームデータが格納される必要はなく、3Dプロセッサ26においてボクセルデータを生成するために必要な枚数分のフレームデータの

10

20

30

40

50

みが格納されてもよい。図3に示す例は、 k 枚のフレームデータに相当する。

【0043】

図4には、フレームメモリ24のアドレス構造39が示されており、図示のように各エコーデータはアドレス構造39上に連続的に格納される。ここでフレーム0およびフレーム $k-1$ は、それぞれ、フレームデータに相当している。すなわち、図3においてフレームを特定するアドレス $0 \sim k-1$ で特定される1枚の平面内のエコーデータに相当する。本実施形態では、このようなブロックを単位としてフレームメモリ24から内部メモリ28へのデータ転送が行われる。もちろん、複数枚分のフレームデータを1つのブロックとして、それを単位として転送を行うようにしてもよいし、1.5枚分のフレームデータを1つの転送単位としてもよい。いずれにしても、アドレス構造39上で連続するデータをそのままブロック転送することにより、先頭のアドレスと転送容量（あるいは終了アドレス）を指定するだけで対象となるデータ集合を迅速かつ容易にブロック転送することが可能となる。したがって、ランダムアクセス方式に比べて、データ転送レートを数倍から数十倍に高速化することも可能である。

10

【0044】

本実施形態において、3Dプロセッサ26は、各フレームを仮想的ボリューム空間である三次元データ空間内に配置し、各フレームのエコーデータから仮想ボリューム内のボクセルデータを算出してボリュームレンダリング法による演算を行う。

【0045】

図5には、三次元データ空間36とフレームとの対応関係が示されており、図示のように、複数のフレーム（ $0 \sim k-1$ ）の各々が、電子走査による取得位置に応じて三次元データ空間36内に仮想的に配置される。三次元データ空間36内のボクセルデータは、フレーム（ $0 \sim k-1$ ）内のエコーデータから補間処理して生成される。

20

【0046】

図6には、ボクセルデータを生成する際の補間処理の概念図が示されており、図6は、図5の三次元データ空間36についての $x-y$ 断面における一部拡大図に相当する。三次元データ空間36内の各ボクセルデータは、そのボクセルデータの近傍に位置する4つのエコーデータから生成される。例えば、図6において、ボクセルデータ INT_p は、その近傍の4つのエコーデータ P_1, P_2, P_3, P_4 から補間処理によって生成される。補間処理としては、例えば、4つのエコーデータ P_1, P_2, P_3, P_4 の各々に補間係数を掛けて加算する処理などが挙げられる。各エコーデータごとの補間係数は、例えば、各エコーデータとボクセルデータとの相対位置に応じて設定される。

30

【0047】

本実施形態では、フレームデータ（ $j \sim j+3$ ）が三次元データ空間36の $x-y$ 平面に垂直に配置されるため、三次元データ空間36内において、 x 座標値および y 座標値が同一で z 軸方向に並ぶボクセルデータ列の各ボクセルデータに対して、同一の補間係数が利用される。

【0048】

図7には、補間処理によって生成される処理プレーン上のボクセルデータ列が示されている。図7のフレームデータ j 内のエコーデータ列 P_1' は、図6のエコーデータ P_1 の位置から z 軸（ z 軸に平行）に沿って並ぶエコーデータのデータ列であり、図7のフレームデータ j 内のエコーデータ列 P_2' は、図6のエコーデータ P_2 の位置から z 軸に沿って並ぶエコーデータのデータ列である。また、図7のフレームデータ $j+1$ 内のエコーデータ列 P_3' は、図6のエコーデータ P_3 の位置から z 軸に沿って並ぶエコーデータのデータ列であり、図7のフレームデータ $j+1$ 内のエコーデータ列 P_4' は、図6のエコーデータ P_4 の位置から z 軸に沿って並ぶエコーデータのデータ列である。

40

【0049】

図7のボクセルデータ列 INT_p' は、図6のボクセルデータ INT_p の位置から z 軸（ z 軸に平行）に沿って並ぶボクセルデータのデータ列である。ボクセルデータ列 INT_p' 上の各ボクセルデータは、そのボクセルデータが含まれる $x-y$ 断面上に存在するエコー

50

ーデータ列 P 1 ' ~ P 4 ' 上のエコーデータから補間処理によって生成される。この補間処理は、ボクセルデータ列 I N T p ' 上の全てのボクセルデータに対して実行される。この際、エコーデータ列 P 1 ' 上の全てのエコーデータに対して同一の補間係数が利用され、エコーデータ列 P 2 ' 上の全てのエコーデータに対して同一の補間係数が利用され、エコーデータ列 P 3 ' 上の全てのエコーデータに対して同一の補間係数が利用され、エコーデータ列 P 4 ' 上の全てのエコーデータに対して同一の補間係数が利用される。

【 0 0 5 0 】

補間処理に利用されるエコーデータ列 P 1 ' ~ P 4 ' は、二つの隣接するフレームデータ内のエコーデータ列であるため、3 D プロセッサ 2 6 は、フレームメモリ 2 4 から二つのフレームデータを D M A 転送によりまとめて読み出し、補間処理を行ってボクセルデータを生成し、ポリウムレンダリング法に基づくボクセル演算を実行することができる。以下、3 D プロセッサ 2 6 で実行されるボクセル演算について詳述する。

【 0 0 5 1 】

図 8 には、単位レイベクトル V が示されている。この単位レイベクトル V は、レイの向きを判定し、また各レイにおいて演算対象となる座標を逐次的に求めるために用いられる。この単位レイベクトルは複数のレイが平行に設定される場合にはそれらについて共通に 1 つだけ設定され、複数のレイがそれぞれ非平行に設定される場合には、各レイごとに設定される。もちろん、その場合でも、代表として 1 つの単位レイベクトルを設定してもよい。例えば、ある代表レイについて、その向きと同一で大きさが 1 のベクトルとして、この単位レイベクトル V が定義される。単位レイベクトルの各座標軸上の成分は x , y , z である。単位レイベクトルの大きさは 1 であるため、各成分 (x , y , z) の最大値は 1 である。3 D プロセッサ 2 6 は、例えば、各成分を s 7 . 8 (符号 1 bit、整数部 7 bit、小数部 8 bit) 型の固定小数点型などで表現することにより、演算処理を高速化することができる。

【 0 0 5 2 】

図 9 には、三次元データ空間 3 6 に対して複数のレイが設定された状態が示されている。三次元データ空間 3 6 は、三次元空間ではあるが、図 9 においては説明のために平面的に表されている。

【 0 0 5 3 】

図 9 に示されるように、複数のレイが x 軸及び y 軸に対して交差する斜め方向に設定された場合、各レイに注目すると、各レイが最初に三次元データ空間 3 6 に進入する座標が図 9 において黒丸で示されている。各黒丸は同時にボクセルデータに相当するものである。図 9 に示されるように、各レイの位置に応じて三次元データ空間 3 6 に進入する最初の座標はそれぞれ異なっている。例えば、レイ L 5 ~ L 1 2 までの 8 つのレイについては進入位置は x 座標における原点を横切る y - z 面上に存在し、それがボクセルデータ e 1 ~ e 8 で表されている。その一方、レイ L 1 ~ L 4 については y 方向の終端を横切る x - z 面上に進入しており、その最初の進入位置にあるボクセルデータが図 9 において e 9 ~ e 1 2 で表されている。ちなみに、スクリーン 4 0 上における各座標ごとに 1 つのレイが対応付けられており、また、図 9 の例では、各レイは平行であって、便宜上、レイ L 1 上に単位レイベクトル V が表されている。

【 0 0 5 4 】

3 D プロセッサ 2 6 は、各レイが最初に三次元データ空間 3 6 に進入する座標である演算開始点をレンダリングレイの本数分だけ算出してアドレステーブルに保存する。処理を高速化するために、アドレステーブルは頻繁にアクセスを行うので、内部メモリ 2 8 に保持することが望ましい。本実施形態の装置においては、三次元データ空間 3 6 内に存在する複数のボクセルデータ (つまり、ポリウムデータ) が上述したように、各フレームのエコーデータから補間処理によって算出される。そこで、3 D プロセッサ 2 6 は、まず x 座標における原点を横切る y - z 面を処理プレーンとして、この処理プレーン上のボクセルデータ (つまり、図 9 におけるボクセルデータ e 1 ~ e 8) を生成するために必要なフレームデータをフレームメモリ 2 4 から内部メモリ 2 8 に読み込む。そして、3 D プロセ

ッサ 26 は、アドレステーブルを参照して、 $y - z$ 面上のボクセルデータを含むレイに対して、前記 (1) 式に基づくボクセル演算を行う。その際、演算に利用されるボクセルデータはフレームデータから補間処理して生成される。

【0055】

ボクセル演算の出力値 C_{out_i} 、 $_{out_i}$ は一時バッファに保持され、演算を行ったレンダリングレイはアドレステーブルの値にレイ単位ベクトルの各要素を加算し、次のボクセルデータを示すアドレスが生成される。生成された次データを示すアドレスが、 $x = 0$ ($y - z$ 面上) になっているレンダリングレイは x アドレスが 0 以外になるまでこの演算を繰り返す。全てのレンダリングレイが $x = 0$ のアドレスを持つデータを処理し終えた場合、または、 y 、 z のアドレスが三次元データ空間 36 のサイズを超えた場合に $x = 0$ の面における処理を完了する。

10

【0056】

さらに、 $x = 1, 2, 3, \dots$ の順に処理プレーンを移動させながらボクセル演算を行い、最後の面の処理が完了した時点における C_{out_i} の値をスクリーン 40 上の投影データとして出力する。出力結果は表示処理部 20 において輝度変換され表示部 30 に出力される。その結果スクリーン 40 上に三次元画像を投影した表示画像が表示部 30 に表示される。

【0057】

図 10 には、ボクセル演算の実行過程が段階的に示されており、(a)、(b)、(c)、(d) の順で工程が進行する。すなわち、まず (a) に示される、レイ L5 ~ レイ L12 についてボクセルデータ列 E1 が生成されてボクセル演算が実行される。この時点において、それ以外のレイ L1 ~ 4 についてのボクセル演算は見送られる。次に (b) に示すように今度はボクセルデータ列 E2 を生成してレイ L4 ~ L12 についてボクセル演算が実行される。すなわち、(a) に示した場合に比べてボクセル演算実行可能なレイとしてレイ L4 が加えられている。

20

【0058】

次に、(c) に示されるボクセルデータ列 E3 を生成してレイ L4 ~ L12 についてボクセル演算が実行され、この段階においては新しくボクセル演算実行可能なレイは加えられていない。そして、(d) に示されるように、更にボクセルデータ列 E4 を生成してレイ L3 ~ L12 についてボクセル演算が実行される。このような過程が繰り返されると、最終的に全レイについて必要なボクセル演算を行うことができ、その結果としてスクリーン 40 上に三次元画像を構築することが可能となる。ちなみに、各レイごとのボクセル演算の終了条件として、例えば、ボクセル演算の対象となる対象座標が三次元データ空間 36 から外れたこと、又は、累積加算した不透明度の値が所定値を超えたことなどが設定されており、そのような終了状況を満たした時点で各レイごとに個別的にボクセル演算が終了する。

30

【0059】

ちなみに、図 10 に示した例では、左上から右下の方向に各レイの向きが定められていたが、それとは逆に例えば、右上から左下の方向に各レイの向きが設定されているような場合には、ボクセル演算が x 方向における負方向に順次進行する。また、各レイの向きが例えば y 方向あるいは z 方向に一致した場合でも、レイの進行方向に沿ってボクセル演算が順次進行する。本実施形態においては、レイの向きに関係なく、レイ全体の中でボクセル演算実行可能なレイについてボクセル演算実行可能なところまでボクセル演算を進行させる。

40

【0060】

図 11 には、複数のレイが y 軸に対して微小角度もって交差した状態が示されている。このような場合においても、(a) に示されるように、まずボクセルデータ列 E1 を生成してレイ L1 についてそれに沿ってボクセル演算が順次進行し、当該レイ L1 について処理は完了する。次に (b) に示されるように、ボクセルデータ列 E2 を生成してレイ L2 についてボクセル演算が順次実行され、これによって当該レイ L2 についてのボクセル演

50

算が終了する。これは(c)及び(d)に示す場合においても同様である。すなわちボクセルデータ列E3を生成してレイL3についてのボリュームレンダリングが実行され、ボクセルデータ列E4を生成してレイL4についてボリュームレンダリングが実行される。

【0061】

したがって、本実施形態によれば、三次元データ空間に対して任意の位置に視点を設定した場合においても、x軸上における正方向または負方向のいずれか適切な方向からボクセルデータを生成すれば、各レイについてのボリュームレンダリング演算(ボクセル演算)を適切に行うことが可能となる。

【0062】

各レイ上における対象座標についてボクセル演算を実行する場合において、その対象座標に該当するボクセルデータが存在しない場合には、その対象座標の近傍に存在する複数のボクセルデータまたはエコーデータを用いて補間処理により対象座標に相当する補間データを生成し、それを用いてボクセル演算を行うのが望ましい。また、対象座標に最も近いボクセルデータを当該対象座標のボクセルデータとして利用するようにしてもよい。これも広義の意味での補間処理である。

【0063】

本実施形態においては、単位レイベクトルによってレイ方向における基本長が定義されており、その基本長が対象座標の間隔すなわちピッチとされている。このような方式によれば、各レイの向きによらずにボクセル演算の回数あるいは密度を均一化することができるので、視点を異ならせた場合において、ボクセル演算のピッチが不定の場合に生ずる画質の相違あるいは画像内容の変化といった問題を未然に防止することが可能となる。

【0064】

次に、図12～図15を用いて、図2に示した超音波診断装置の動作、特に3Dプロセッサの動作について説明する。図12にはメインルーチンが示されており、S101では、図13に示される初期化プロセスが実行される。S102では、単位レイベクトルの成分xの符号を用いて、ボクセル演算の方向が選択され、すなわちS103のプロセスを実行するか、S104のプロセスを実行するかが選択される。

【0065】

S103では、x方向における正方向がボクセル演算の方向として指定され、その方向に沿ってボクセルデータが生成されて画像処理が実行される。これについては後に図14を用いて詳述する。その一方において、S104においてはx方向における負方向がボクセル演算の方向として指定され、それに基づいた画像処理が実行される。S103のプロセスとS104のプロセスは基本的には同一であるがそこで設定されるパラメータがいくつか異なっている。これについては後に説明する。S105では、上記のいずれかのプロセスによって生成された三次元画像が3Dプロセッサから表示処理部へ転送される。

【0066】

図13には、図12に示したS101の初期化プロセスがフローチャートとして示されている。まず、S201では、正規化された視線(単位レイ)ベクトルについて各軸ごとの成分すなわち要素x, y, zが演算される。単位レイベクトルはその長さが1で、視点からスクリーンを見た方向として定義される。S202では、パラメータYに0が代入され、S203ではパラメータXに0が代入される。

【0067】

S204では、スクリーン座標X, Yで特定されるレイについて、それが最初に三次元データ空間と交わる点(x_s, y_s, z_s)が最初のボクセル演算の対象となる対象座標として演算される。そして、S205では、その対象座標が内部メモリ上に構成されるアドレステーブルに格納される。

【0068】

S206では、パラメータXが1つインクリメントされ、S207では、Xがその最大値を越えたか否かが判断され、越えていなければ、S204からの各工程が実行される。

【0069】

10

20

30

40

50

一方、S 2 0 8 では、パラメータ Y が 1 つインクリメントされ、S 2 0 9 ではパラメータ Y がその最大値を越えたか否かが判断され、越えていなければ S 2 0 3 からの各工程が繰り返し実行される。すなわちパラメータ X 及び Y をそれぞれ 1 つずつ変えながら、スクリーン上の全ての座標の各々に対応するレイについて最初の対象座標が演算され、それがアドレステーブルに格納されることになる。

【 0 0 7 0 】

図 1 4 には、図 1 2 に示した S 1 0 3 のプロセスの具体的な内容がフローチャートとして示されている。S 3 0 1 では、パラメータ x に 0 が代入される（図 1 2 に示した S 1 0 4 の場合には、 $x = x_{max}$ が代入される）。ちなみに、S 3 0 1 においてパラメータ x に 0 が代入され、後述するようにその x は 1 つずつインクリメントされ、x 方向における正方向に処理プレーンが順次移動することで本プロセスが進行する。

10

【 0 0 7 1 】

S 3 0 2 では、フレームデータの転送が行われる。すなわち、 $x, y : 0 \sim y_{max}, z : 0 \sim z_{max}$ で特定される処理プレーン上のボクセルデータを生成するために必要なフレームデータが外部メモリから内部メモリへブロック転送される。そして転送されたフレームデータを利用してボリュームデータが補間処理によって生成される。ボクセルデータを生成するためのフレームデータは、図 6 および図 7 を利用して説明したようにメモリ空間上で連続しているデータ集合である。このようなデータ集合を転送単位とすることによりランダムアクセスは不要となり、必要なデータを一括して転送できるという利点がある。なお S 3 0 2 において実行される処理の詳細は、後に図 1 5 を利用して詳述する。

20

【 0 0 7 2 】

S 3 0 3 ではパラメータ Y に 0 が代入され、S 3 0 4 ではパラメータ X に 0 が代入される。S 3 0 5 では、X 及び Y で特定されるレイについて、それについてのボクセル演算が全て完了したレイであるか否かが判断される。Yes であれば S 3 1 2 からの各工程が実行され、No であれば S 3 0 6 からの各工程が実行される。

【 0 0 7 3 】

S 3 0 6 では、アドレステーブルから X 及び Y で特定されるレイについて対象座標 (x_p, y_p, z_p) が読み出される。すなわち、当該レイについて現在演算対象となっている座標が特定される。そして、S 3 0 7 では、 x_p が x に一致しているか否かが判断され、一致していなければ現在演算すべきボクセルデータは存在しないものとして処理が S 3 1 2 へ移行し、一方、一致していればその当該レイについてボクセル演算の対象となるボクセルデータが存在しているものとして処理が S 3 0 8 へ移行する。

30

【 0 0 7 4 】

S 3 0 8 では、対象座標によって特定されるボクセルデータを演算して上記の (1) 式を実行することにより、出力値が演算される。S 3 0 9 では、上記の演算結果が内部メモリ上のテーブルに保存される。すなわち、上記の (1) 式に従えば、当該レイについての演算結果である Out_{XY} 及び out_{XY} が保存される。ちなみに、この段階において例えばオパシティ値の累積加算値が 1 に到達した場合など所定の終了条件を満たす場合には、処理を S 3 1 0 へ移行させることなくデータの保存前あるいはデータの保存後に処理を S 3 1 2 へ移行させるのが望ましい。

40

【 0 0 7 5 】

S 3 1 0 では、当該レイについて対象座標が更新される。すなわち、x 座標、y 座標及び z 座標のそれぞれについて x, y, z が加算され、これによって対象座標が更新される。S 3 1 1 においては、そのような更新された対象座標が三次元データ空間（あるいは有効な処理範囲）内にあるか否かが判断され、対象座標が三次元データ空間内に存在すれば処理が S 3 0 7 へ移行し、その一方、対象座標が三次元データ空間内でなければ処理が S 3 1 2 へ移行する。

【 0 0 7 6 】

ここで、S 3 1 1 から処理が S 3 0 7 へ移行した場合において、現在処理対象となっているボクセル演算実行可能なボクセルデータが存在するならば S 3 0 8 以降の各工程が繰

50

り返し実行されることになる。すなわち、このようなプロセスにより、フレームデータのデータ転送ごとに、ボクセル演算実行可能なレイが判断され、しかもそのレイについてボクセル演算実行可能なところまでボクセル演算を進行させることができる。

【 0 0 7 7 】

S 3 1 2 においては、パラメータ X が 1 つインクリメントされ、S 3 1 3 ではそのパラメータ X がその最大値を越えたか否かが判断され、越えていなければ処理が S 3 0 5 へ移行し、越えていれば S 3 1 4 においてパラメータ Y が 1 つインクリメントされ、S 3 1 5 においてパラメータ Y がその最大値を越えているか否かが判断される。Y がその最大値を超えていなければ処理が S 3 0 4 へ移行し、その一方、越えていれば処理が S 3 1 6 へ移行する。S 3 1 6 では、x が 1 つインクリメントされ (図 1 2 の S 1 0 4 の場合には $x = x - 1$)、S 3 1 7 においてはそのパラメータ x がその最大値を越えたか否かが判断され (図 1 2 の S 1 0 4 の場合には $x < 0$ が判断され)、越えていなければ処理が S 3 0 2 へ移行し、越えていれば処理が S 3 1 8 へ移行する。

10

【 0 0 7 8 】

すなわち、フレームデータの転送ごとに、各レイごとにボクセル演算の実行が可能か否かが判断され、それが可能であればボクセル演算が実行可能なところまでボクセル演算が進行する。そして、全てのレイについてそのような検証及び演算が実行された後、処理が S 3 0 2 に戻って次のフレームデータの転送が行われ、これがフレームデータの転送ごとに順次繰り返されることになる。したがって、最初のフレームデータの転送から最後のフレームデータの転送までを完了すると、その結果として全レイについて実行可能な全てのボクセル演算が完結することになる。そこで、S 3 1 8 においては、各レイごとに求められた出力値である $C o u t X Y$ を輝度変換して画素値として格納する処理が実行される。

20

【 0 0 7 9 】

図 1 5 には、図 1 4 に示した S 3 0 2 のプロセスの具体的な内容がフローチャートとして示されている。S 4 0 1 では、パラメータ y に 0 が代入される。S 4 0 2 では、補間点 $I N T p$ を算出するための 4 つのフレームデータ (エコーデータ) を得るために用いる補間基準アドレス (F , ,) および 4 つのフレームデータに対応する補間係数 $w_0 \sim w_3$ を求める。図 6 を例に挙げると、 $I N T p$ を算出するための 4 つのフレームデータは $p_1 \sim p_4$ であり、これら 4 点を得るための補間基準アドレスとして、フレームデータ p_2 の座標が求められる。また、補間係数 $w_0 \sim w_3$ は、例えば、フレームデータと補間点 $I N T p$ との位置関係 (各フレームデータと補間点の距離など) から決定される。

30

【 0 0 8 0 】

S 4 0 3 では、補間基準アドレス (F , ,) に基づいて、外部メモリに記憶されたフレームデータの中から、(F , , 0) ~ (F , + 1 , $n - 1$) および ($F + 1$, , 0) ~ ($F + 1$, + 1 , $n - 1$) のアドレスのフレームデータが内部メモリに転送される。ここで、(F , , 0) ~ (F , + 1 , $n - 1$) のアドレスのフレームデータは、図 7 におけるエコーデータ列 P_1' およびエコーデータ列 P_2' に相当し、また、($F + 1$, , 0) ~ ($F + 1$, + 1 , $n - 1$) のアドレスのフレームデータは、図 7 におけるエコーデータ列 P_3' およびエコーデータ列 P_4' に相当する。

40

【 0 0 8 1 】

S 4 0 4 では、パラメータ z に 0 が代入される。S 4 0 5 では、補間処理により $I N T p$ が求められる。つまり、三次元空間におけるアドレス (z , y , x) の補間点を $I N T p (z , y , x)$ とすると次式で補間点が算出される。

【 0 0 8 2 】

【 数 2 】

$$I N T p (z , y , x) = P_0 \times w_0 + P_1 \times w_1 + P_2 \times w_2 + P_3 \times w_3 \cdots (2)$$

(2) 式において、 P_0 はアドレス (F , + 1 , $n - z$) のフレームデータであり、 P_1 はアドレス (F , , $n - z$) のフレームデータであり、 P_2 はアドレス ($F + 1$, + 1 , $n - z$) のフレームデータであり、 P_3 はアドレス ($F + 1$, , $n - z$) のフレ

50

ームデータである。

【 0 0 8 3 】

S 4 0 6 では、パラメータ z が 1 だけインクリメントされ、S 4 0 7 において $z = z_{max}$ と判断されるまで、S 4 0 5 および S 4 0 6 の動作が繰り返される。さらに、S 4 0 8 ではパラメータ y が 1 だけインクリメントされ、S 4 0 9 において $y = y_{max}$ と判断されるまで、S 4 0 2 から S 4 0 8 までの動作が繰り返される。その結果、全ての y , z の値に対して補間点 $INT p (z , y , x)$ が求められる。

【 0 0 8 4 】

次に、図 1 6 ~ 図 1 9 を用いて上記実施形態の変形例について説明する。

【 0 0 8 5 】

図 2 には 1 つのフレームメモリ 2 4 及び 1 つの 3 D プロセッサ 2 6 が示されていたが、それぞれについては複数個設けることが可能である。すなわち、図 1 6 に示されるように、フレームメモリ 2 4 に対して複数の 3 D プロセッサ 2 6 A , 2 6 B , 2 6 C を設けるようにしてもよい。それぞれのプロセッサ 2 6 A , 2 6 B , 2 6 C は複数のレイについてグルーピングされたそれぞれのグループを担当するものである。フレームデータは各プロセッサ 2 6 A , 2 6 B , 2 6 C に対して並列転送される。

【 0 0 8 6 】

これと同様に、図 1 7 に示すような構成を採用することができる。すなわち、3 つのフレームメモリ 2 4 A , 2 4 B , 2 4 C が設けられており、それらについては同じフレームデータが重複して格納される。また 3 つの 3 D プロセッサ 2 6 A , 2 6 B , 2 6 C が設けられており、それらはフレームメモリ 2 4 A , 2 4 B , 2 4 C から出力されたフレームデータに従って、自己が担当するグループ内のレイについてボクセル演算を進行させる。

【 0 0 8 7 】

図 1 6 及び図 1 7 に示した構成例によれば、複数の 3 D プロセッサを並列動作させて複数のレイについて分担してボクセル演算を進行させることにより画像処理速度をより向上させることが可能となる。この場合において、フレームメモリから 3 D プロセッサへのデータ転送はそれぞれの 3 D プロセッサについて全く同じ内容とするのが望ましい。

【 0 0 8 8 】

図 1 8 及び図 1 9 には複数のレイについてのグルーピング方式が示されており、図 1 8 の (a) は 1 つのレイを単位として所定のシーケンスで複数のレイを 3 つのグループに配分した方式を示している。例えば互いに並んだ 3 つのレイについてはそれぞれ画素 5 0 , 5 1 , 5 2 が対応付けられる。このような方法によれば、図 1 9 の (a) に示すようなパターンでそれぞれのレイについて画素値を演算することができる。また図 1 8 の (b) に示されるようにスクリーン 4 0 上におけるラインを単位としてグルーピングを行うようにしてもよい。すなわちライン 5 3 , 5 4 , 5 5 のそれぞれについて担当する 3 D プロセッサを割り当てるものである。図 1 9 の (d) に示すようなパターンでグルーピングがなされることになる。図 1 8 の (c) に示す例においては、スクリーン 4 0 が複数のエリア 5 6 , 5 7 , 5 8 に区分され、それらのエリアごとに担当する 3 D プロセッサが割り当てられる。その結果、図 1 9 の (c) に示すようなパターンでグルーピングが行われることになる。

【 0 0 8 9 】

以上説明したように、本実施形態 (変形例を含む) によれば、フレームメモリ上においてメモリアドレスが連続しているデータ集合を単位として 3 D プロセッサへの転送を行うことができるので、転送制御が簡便であり、また転送時間を著しく削減することが可能となる。その場合においてはバースト転送方式が採用され、3 D プロセッサ内に存在している DMA コントローラにより DMA 転送を行わせるのが望ましい。ここで、一般に、3 D プロセッサと外部メモリとの間のバスの幅は例えば 3 2 b i t といったように非常に広い。フレームデータが例えば 8 b i t とした場合に、ランダムアクセスによってフレームデータを読み出そうとすると上記の広いバスを有効活用することができず、1 回に 8 b i t しかデータの読み出しを行えない。これに対し、上記実施形態によれば、複数のフレーム

10

20

30

40

50

データを並列読み出しをすることも可能であり、例えばバス幅が32bitであれば4つのフレームデータ(エコーデータ)の並列読み出しを実現でき、バス幅が64bitであれば8つのフレームデータを並列的に読み出せるという利点がある。このような観点からもデータ転送時間を短縮化できるという利点がある。

【図面の簡単な説明】

【0090】

【図1】ボリュームレンダリングの原理を説明するための説明図である。

【図2】本実施形態に係る超音波診断装置の全体構成を示すブロック図である。

【図3】フレームデータ空間の構造を概念的に示す図である。

【図4】フレームメモリにおけるアドレス構造を示す図である。

10

【図5】三次元データ空間とフレームとの対応関係を示す図である。

【図6】ボクセルデータを生成する際の補間処理の概念図である。

【図7】補間処理によって生成されるボクセルデータ列を説明するための図である。

【図8】単位レイベクトルを説明するための説明図である。

【図9】三次元データ空間と各レイごとのボクセル演算との関係を示す図である。

【図10】段階的にボクセル演算される様子を示した説明図である。

【図11】段階的にボクセル演算される様子を示した説明図である。

【図12】装置の動作例を示すフローチャートである。

【図13】初期化プロセスの具体的な内容を示すフローチャートである。

【図14】図12に示すS103のプロセスの具体的な内容を示すフローチャートである

20

。
【図15】図14に示すS302のプロセスの具体的な内容を示すフローチャートである。

【図16】1つのフレームメモリと3つの3Dプロセッサを設ける場合の構成例を示す図である。

【図17】3つのフレームメモリと3つの3Dプロセッサを設ける場合の構成例を示す図である。

【図18】グルーピングを説明するための説明図である。

【図19】グルーピングを説明するための説明図である。

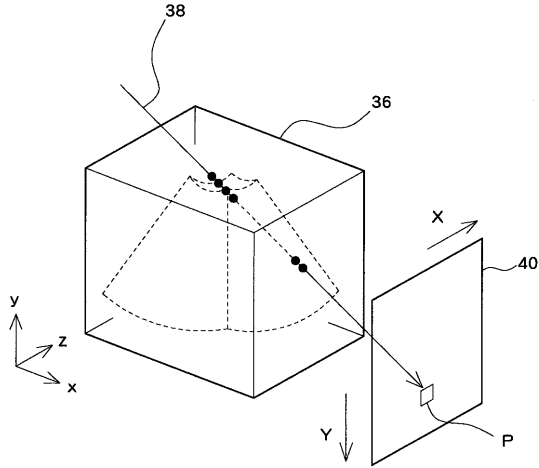
【符号の説明】

30

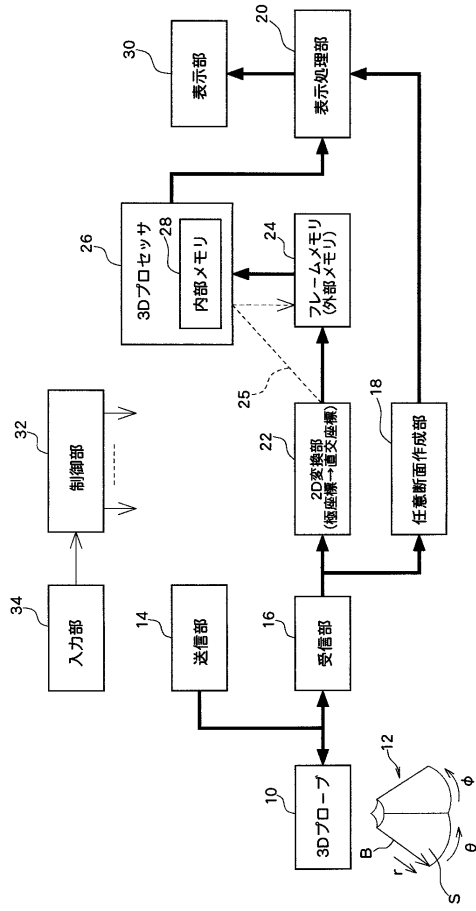
【0091】

10 3Dプローブ、12 送受波空間、22 2D変換部、24 フレームメモリ(外部メモリ)、26 3Dプロセッサ、28 内部メモリ、36 三次元データ空間、40 スクリーン。

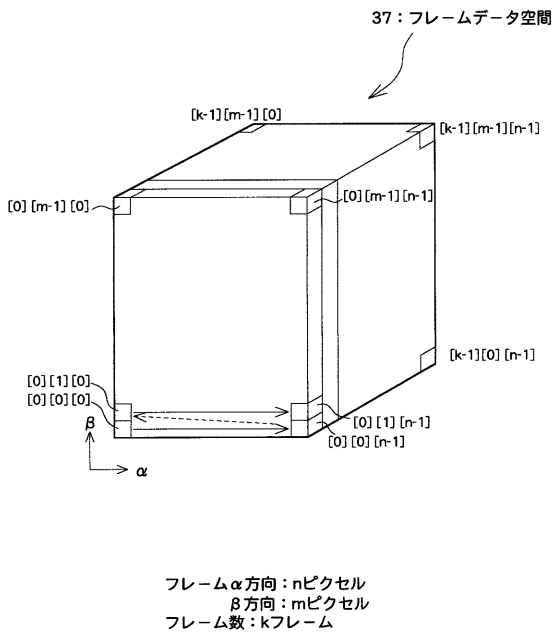
【図1】



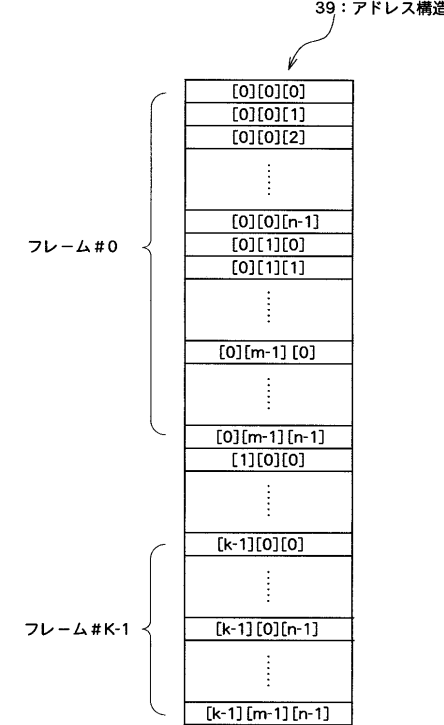
【図2】



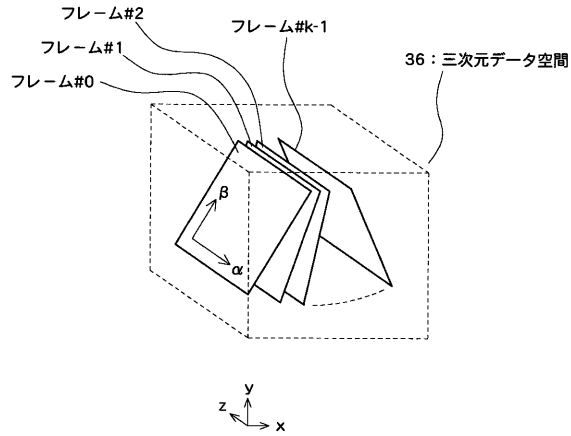
【図3】



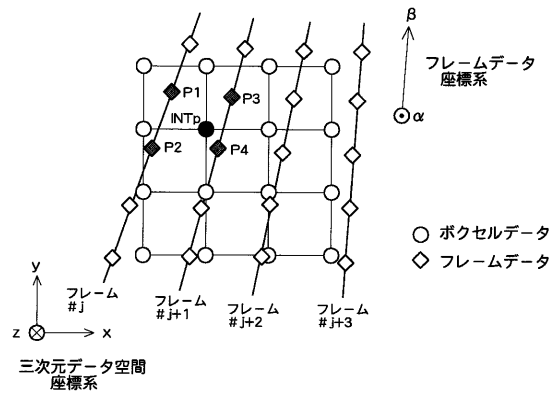
【図4】



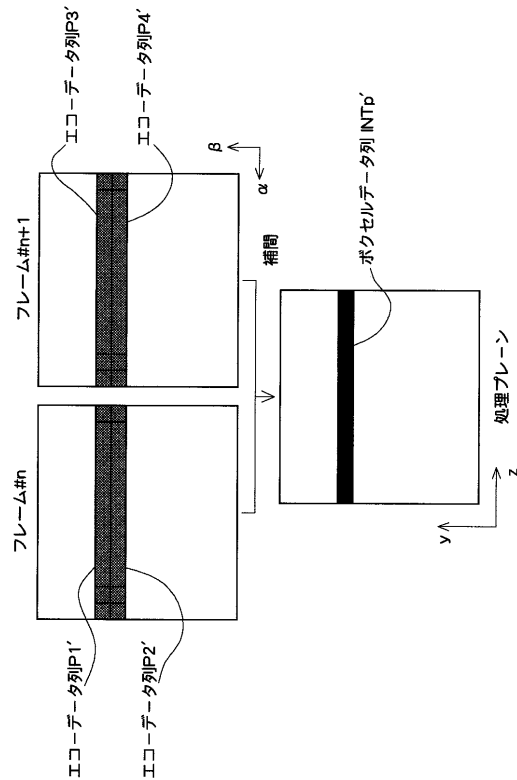
【図5】



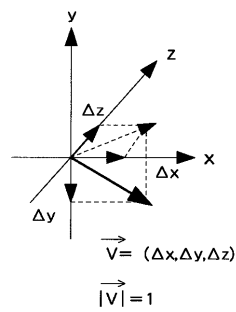
【図6】



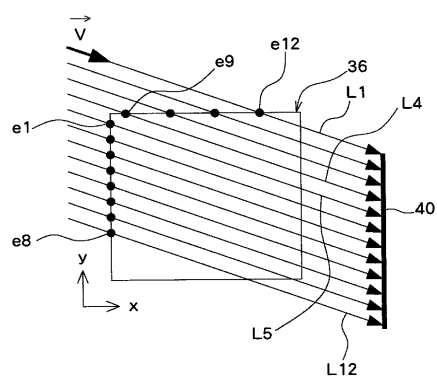
【図7】



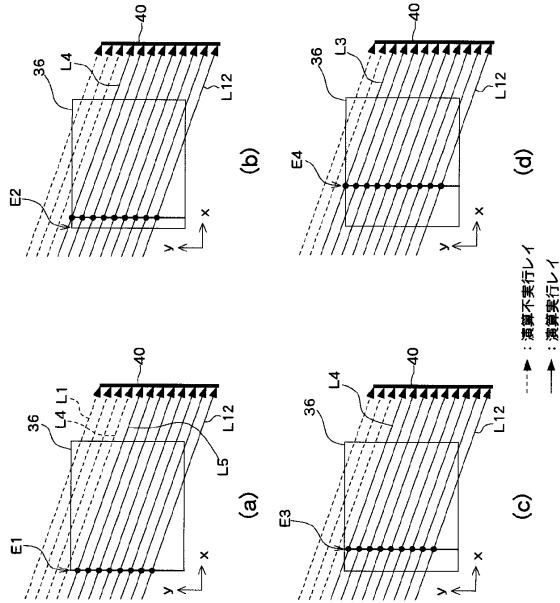
【図8】



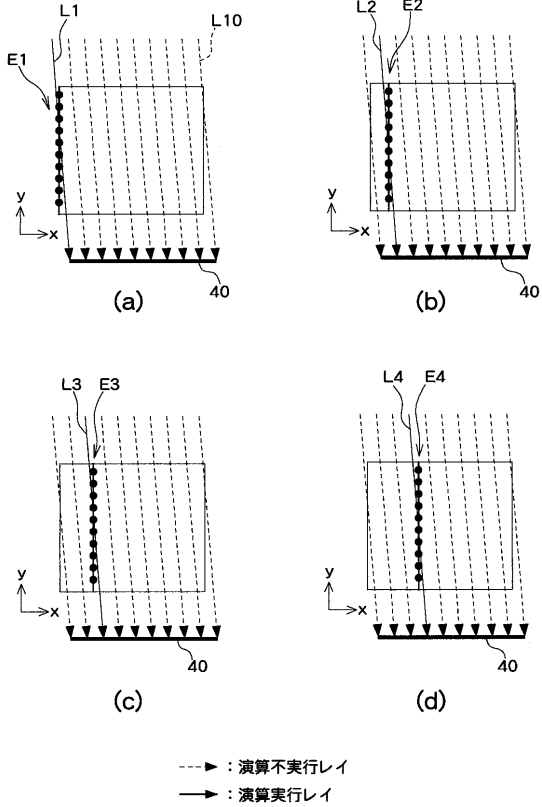
【図9】



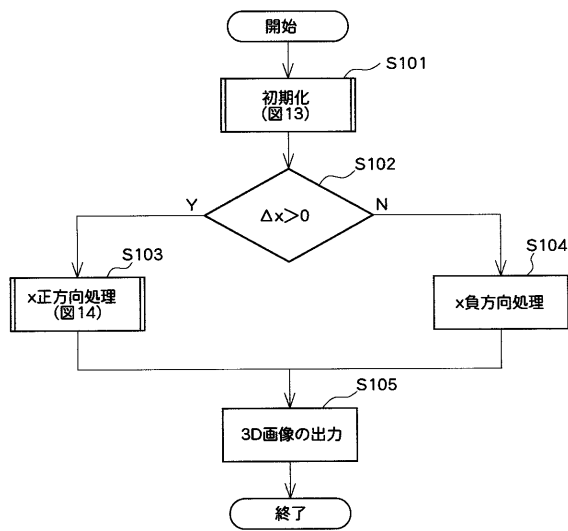
【図10】



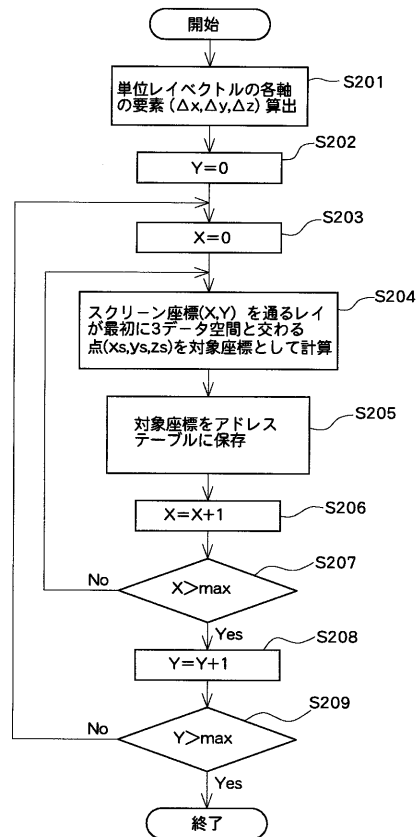
【図11】



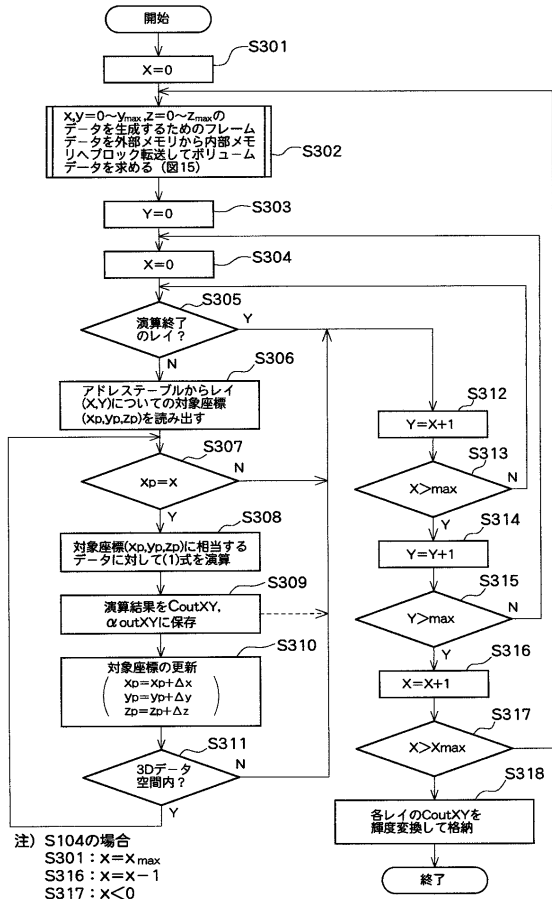
【図12】



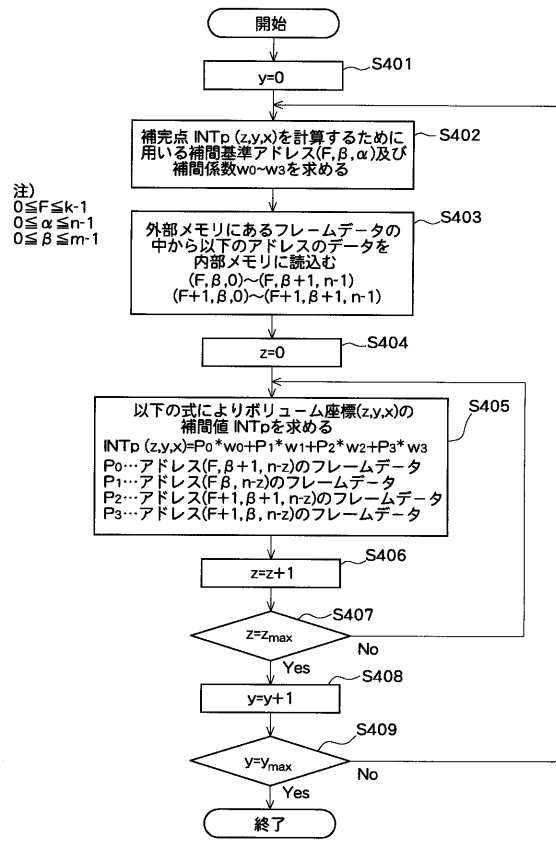
【図13】



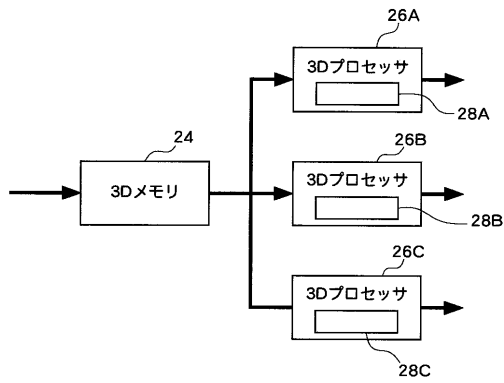
【図14】



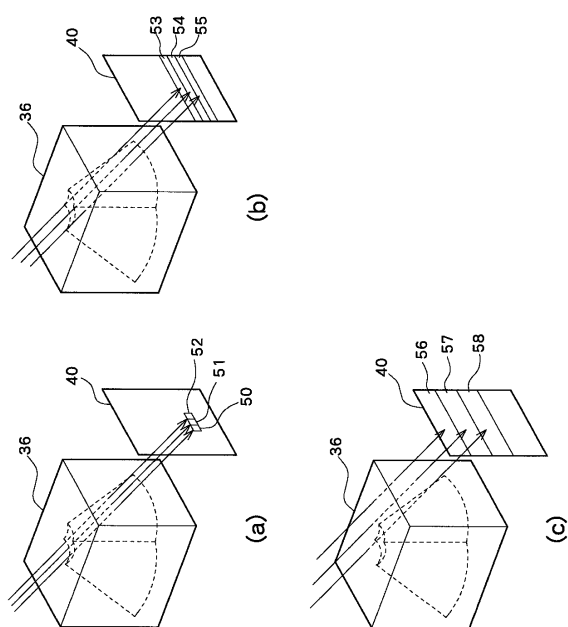
【図15】



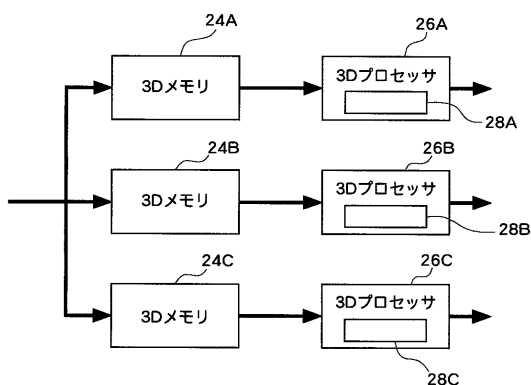
【図16】



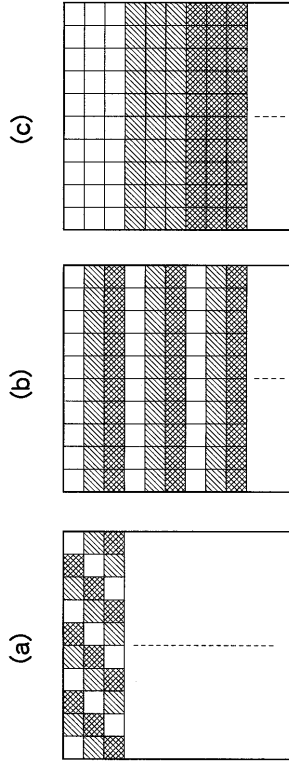
【図18】



【図17】



【 図 19 】



- : 3Dプロセッサ26Aの処理対象
- ▨ : 3Dプロセッサ26Bの処理対象
- ▩ : 3Dプロセッサ26Cの処理対象

フロントページの続き

- (56)参考文献 特開2002-238890(JP,A)
特開2002-224103(JP,A)
特開2001-034782(JP,A)
特開2001-017424(JP,A)
特開平11-028212(JP,A)
特開2005-165627(JP,A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

A61B 8/00

