

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公開特許公報(A)

(11) 特許出願公開番号

特開2014-176425

(P2014-176425A)

(43) 公開日 平成26年9月25日(2014.9.25)

(51) Int.Cl.	F 1	テーマコード (参考)
A 6 1 B 6/03 (2006.01)	A 6 1 B 6/03 3 6 0 G	4 C 0 9 3
A 6 1 B 5/055 (2006.01)	A 6 1 B 5/05 3 8 0	4 C 0 9 6

審査請求 未請求 請求項の数 3 O L (全 20 頁)

(21) 出願番号 特願2013-50925 (P2013-50925)  
 (22) 出願日 平成25年3月13日 (2013.3.13)

特許法第30条第2項適用申請有り ▲1▼ 平成24年9月14日 肝癌治療シミュレーション研究会事務局発行の「第7回肝癌治療シミュレーション研究会抄録集」に発表 ▲2▼ 平成24年10月6日 「第7回肝癌治療シミュレーション研究会」において発表 ▲3▼ 平成24年12月25日 日刊工業新聞社発行の「日刊工業新聞 平成24年12月25日付」に発表

(71) 出願人 504171134  
 国立大学法人 筑波大学  
 茨城県つくば市天王台一丁目1番1  
 (71) 出願人 501198855  
 株式会社 レキシー  
 東京都豊島区巢鴨3丁目36番6号 巢鴨  
 共同計画ビル9階  
 (74) 代理人 100108855  
 弁理士 蔵田 昌俊  
 (74) 代理人 100109830  
 弁理士 福原 淑弘  
 (74) 代理人 100088683  
 弁理士 中村 誠  
 (74) 代理人 100103034  
 弁理士 野河 信久

最終頁に続く

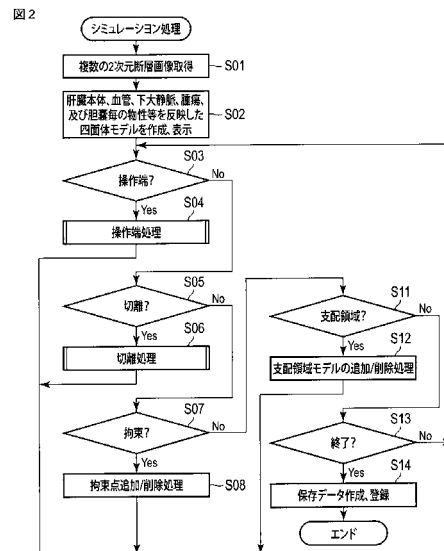
(54) 【発明の名称】 画像診断支援プログラム

(57) 【要約】

【課題】軟物質で構成される臓器の変形度合い等を考慮して実際の手術時を想定しながら画像による各種シミュレーションを可能とすること。

【解決手段】診断対象となる臓器の複数の2次元断層画像情報を入力する画像入力ステップS01と、画像入力ステップS01で入力した複数の2次元断層画像情報に基づき、臓器を構成する各部位の少なくとも固さ及び質量を反映した、隣接する各頂点が連結された四面体ブロックの集合体による四面体モデルを作成するモデル作成ステップS02と、作成した四面体モデルに対する、変形を伴う操作を受け付ける変形受付ステップS03、S05、S07、S11と、受け付けた変形を伴う操作に対し、四面体モデルを再作成する再作成ステップS04、S06、S08、S12とを有する。

【選択図】 図2



## 【特許請求の範囲】

## 【請求項 1】

診断対象となる臓器の複数の 2 次元断層画像情報を入力する画像入力ステップと、  
 上記画像入力ステップで入力した複数の 2 次元断層画像情報に基づき、上記臓器を構成する各部位の少なくとも固さ及び質量を反映した、隣接する各頂点が連結された四面体ブロックの集合体による四面体モデルを作成するモデル作成ステップと、  
 上記モデル作成ステップで作成した四面体モデルに対し、四面体モデルに対する切離を含む、変形を伴う操作を受付ける変形受付ステップと、  
 上記変形受付ステップで受付けた切離面を横断する四面体ブロック毎に、予め複数の切離パターンに関する切離演算を記憶した分割パターンテーブルを用いて複数の四面体ブロックに分割するように、上記四面体モデルを再作成する再作成ステップと  
 を有したことを特徴とする画像診断支援プログラム。

10

## 【請求項 2】

上記変形受付ステップは、四面体モデルに対する操作の基準となるモデル上の位置の指定、及び変形を抑制するモデル上の範囲の設定の少なくとも一方を受付けることを特徴とする請求項 1 記載の画像診断支援プログラム。

## 【請求項 3】

上記診断対象となる臓器は肝臓であり、  
 上記モデル作成ステップは、肝臓を構成する少なくとも肝臓本体、下大静脈、胆嚢、及び腫瘍の各部位の少なくとも固さ及び質量を反映した四面体モデルを作成することを特徴とする請求項 1 記載の画像診断支援プログラム。

20

## 【発明の詳細な説明】

## 【技術分野】

## 【0001】

本発明は、例えば肝臓などの臓器を対象とした画像診断支援プログラムに関する。

## 【背景技術】

## 【0002】

画像診断支援装置において、所望の位置で柔軟に 3 次元医用画像を分離または切開して表示することにより、より効果的に 3 次元画像の可視化を行う技術が考えられている。（例えば、特許文献 1）

30

## 【先行技術文献】

## 【特許文献】

## 【0003】

【特許文献 1】特開 2011 - 200625 号公報

## 【発明の概要】

## 【発明が解決しようとする課題】

## 【0004】

上記特許文献に記載された技術は、複数の 2 次元画像から作成した 3 次元画像によりコンピュータ上で切離面を指定することで、分離または切開対象構造物が境界面及び必要に応じて切離面で分離または切開された 3 次元医用画像を生成し、表示するようにした技術である。この技術で分離または切開対象の構造物として挙げられている、例えば肝臓や肺などの臓器はいずれも軟物質で構成されており、実際の臓器はそれ自体の自重や術者の持ち方などによって変形する。

40

## 【0005】

しかしながら上記特許文献に記載された技術は、分離または切開対象の構造物が軟物質で構成された、容易に変形するものであることを考慮していない。そのため、基本的な方針、すなわち大まかに切開位置等を決定するに止まり、実際の術中に変形する臓器に対してどのような手技を施せば良いのかを知ることはできない。

## 【0006】

本発明は上記のような実情に鑑みてなされたもので、その目的とするところは、軟物質

50

で構成される臓器の変形度合い等を考慮して実際の手術時を想定しながら画像による各種シミュレーションが可能な画像診断支援プログラムを提供することにある。

【課題を解決するための手段】

【0007】

本発明の一態様は、診断対象となる臓器の複数の2次元断層画像情報を入力する画像入力ステップと、上記画像入力ステップで入力した複数の2次元断層画像情報に基づき、上記臓器を構成する各部位の少なくとも固さ及び質量を反映した、隣接する各頂点が連結された四面体ブロックの集合体による四面体モデルを作成するモデル作成ステップと、上記モデル作成ステップで作成した四面体モデルに対し、四面体モデルに対する切離を含む、変形を伴う操作を受付ける変形受付ステップと、上記変形受付ステップで受付けた切離面を横断する四面体ブロック毎に、予め複数の切離パターンに関する切離演算を記憶した分割パターンテーブルを用いて複数の四面体ブロックに分割するように、上記四面体モデルを再作成する再作成ステップとを有したことを特徴とする。

10

【発明の効果】

【0008】

本発明によれば、軟物質で構成される臓器の変形度合い等を考慮して実際の手術時を想定しながら画像による各種シミュレーションが可能となる。

【図面の簡単な説明】

【0009】

【図1】本発明の一実施形態に係る画像診断支援プログラムをインストールしたパーソナルコンピュータのハードウェア構成を示すブロック図。

20

【図2】同実施形態に係るシミュレーション処理全体の内容を示すフローチャート。

【図3】同実施形態に係る図2の操作端処理のより詳細な内容を示すサブルーチンのフローチャート。

【図4】同実施形態に係る図2の切離処理のより詳細な内容を示すサブルーチンのフローチャート。

【図5】同実施形態に係る四面体モデルの概略構成を透視して示す図。

【図6】同実施形態に係る肝臓表面を三角形のポリゴンで構成して示す図。

【図7】同実施形態に係る操作端追加時にディスプレイで表示される肝臓の画像を例示する図。

30

【図8】同実施形態に係る切離処理後にディスプレイで表示される肝臓の画像を例示する図。

【図9】同実施形態に係る切離処理による5つの分割パターンを示す図。

【図10】同実施形態に係る各分割パターンでの処理内容を示す図。

【図11】同実施形態に係る各分割パターンでの処理内容を示す図。

【図12】同実施形態に係る各分割パターンでの処理内容を示す図。

【図13】同実施形態に係る各分割パターンでの処理内容を示す図。

【図14】同実施形態に係る各分割パターンでの処理内容を示す図。

【図15】同実施形態に係る各分割パターンでの処理内容を示す図。

【図16】同実施形態に係る各分割パターンでの処理内容を示す図。

40

【図17】同実施形態に係る各分割パターンでの処理内容を示す図。

【図18】同実施形態に係る各分割パターンでの処理内容を示す図。

【図19】同実施形態に係る分割パターンテーブルを取り纏めて示す図。

【図20】同実施形態に係る分割パターンテーブルを取り纏めて示す図。

【図21】同実施形態に係る分割パターンテーブルを取り纏めて示す図。

【図22】同実施形態に係る分割パターンテーブルを取り纏めて示す図。

【図23】同実施形態に係る四面体モデルでの支配領域の設定例を示す図。

【発明を実施するための形態】

【0010】

以下、本発明の一実施形態について図面を参照して説明する。

50

図1は、本実施形態に係る画像診断支援プログラムをインストールしたパーソナルコンピュータ(以下「PC」)10のハードウェア構成を示す。各種処理制御を司るCPU11とフロントサイドバスFSBを介してチップセットのノースブリッジ12が接続される。

【0011】

このノースブリッジ12は、さらにメモリバスMBを介してメインメモリ13と、またPCI-Expressバスを介してグラフィックコントローラ14及びグラフィックメモリ15と接続される他、チップセットであるサウスブリッジ16とも接続され、主としてこれらの間での入出力制御を実行する。

【0012】

サウスブリッジ16は、キーボード/マウス18、ビデオエンコーダ19、ハードディスク装置(HDD)20、ネットワークインタフェース(I/F)21、マルチディスクドライブ22、及びサウンドボード23と接続され、主としてこれら周辺回路とノースブリッジ12との間での入出力制御を行なう。

【0013】

上記ハードディスク装置20内に、OS(オペレーティングシステム)と各種のアプリケーションプログラム、各種のデータファイル等に加えて、手術前に使用する画像診断支援プログラム、患者の診断対象となる臓器、例えば肝臓の2次元断層画像が多数格納された画像データファイル等が予めインストールされているものとする。

【0014】

なお、上記ビデオエンコーダ19は、与えられたデジタル値の画像信号からアナログ値の画像信号であるRGBビデオ信号を生成して出力し、ここでは図示しないディスプレイ部に送ることで、当該ディスプレイに画像が表示される。

【0015】

上記ネットワークインタフェース21は、例えば病院施設内に敷設されたLAN(Local Area Network)と接続される。

【0016】

また、上記マルチディスクドライブ22は、例えばCD(Compact Disc)規格、DVD(Digital Versatile Disc)規格、及びBD(Blue-ray Disc:ブルーレイ・ディスク)規格に則った各種光ディスク媒体の再生と記録が可能であり、X線CT装置やMRI装置等で取得した断層画像等を記録した光ディスク媒体を再生して読出すことで、患者の患部臓器周辺の2次元断層画像データ(以下「臓器画像データ」と称する)を取込んで上記ハードディスク装置20に記録可能とする。

なお、これらPC10を構成する個々の要素は、きわめて一般的な周知の技術であるのでその説明は省略するものとする。

【0017】

次に上記実施形態の動作について説明する。

図2は、本実施形態に係る画像診断支援プログラムで実行するシミュレーション処理の内容を示すフローチャートである。以下に説明する処理は、CPU11がハードディスク装置20から読出したプログラムをメインメモリ13上に展開することで実行する。なおここでは、患者の臓器として肝臓の画像をシミュレーションする場合について説明する。

【0018】

処理当初にCPU11は、このPC10のユーザである医師のキーボード/マウス18での操作に従い、マルチディスクドライブ22あるいはネットワークインタフェース21を介して患者の2次元臓器画像データを必要範囲分指定して取得する(ステップS01)。

【0019】

こうして得た複数の臓器画像データに基づき、CPU11は当該臓器を構成する各部位毎の物性等を反映した、四面体ブロックの集合体としての四面体モデルを作成してディス

10

20

30

40

50

プレイで表示する（ステップS02）。

図5は、ここで作成して表示される四面体モデルの概略構成を透視して示す図である。肝臓を構成する部位は、肝臓本体（実質）LB、血管（静脈、門脈、及び動脈）BV、下大静脈IVC、直接の患部である腫瘍TM、及び胆嚢GBからなるものとする。

【0020】

ここでは各部位毎に、その部位の「物性」、ディスプレイで表示する場合の「表示」、隣接する部位との重なり合いを回避するための「衝突」、不要な変形及び移動の範囲を抑制するための「拘束」、他の部位との「接続」を定義する。

【0021】

肝臓本体LBの物性は、FEM（Finite Element Method）用四面体のブロックが担うものとし、四面体に弾性係数を設定することで、肝臓本体LBの質感を実現するものとする。この弾性係数は、ユーザにより任意に調整可能とし、硬軟を可変できるようにしている。また、四面体ブロックの体積に応じた質量を設定することで、重力下におかれていることをシミュレーション内で反映する。

10

【0022】

図6に示すように、肝臓本体LBの表示は、肝臓表面上に配置された三角形のポリゴンで構成する。肝臓本体LBの四面体ブロックの頂点と対応関係が与えられるものとし、対応関係が与えられた四面体ブロックの各頂点が接続されるものとする。

【0023】

肝臓本体LBの衝突は、肝臓表面に位置する三角形ポリゴンの各頂点に衝突点が置かれるものとし、衝突対象は下大静脈IVCとして、肝臓本体LBと下大静脈IVCの重なり合いを防止する。

20

【0024】

肝臓本体LBの拘束は、四面体頂点のうち、肝臓表面に位置するものを拘束できるものとして、各頂点毎にユーザが拘束/非拘束を選択できるものとする。肝臓に拘束点の設定をすることで、肝臓による形状維持を再現し、拘束によって重力による後面側への肝臓の落下を抑制する。

【0025】

肝臓本体LBの接続は、四面体の頂点を接点として、下大静脈IVC、腫瘍TM、または胆嚢GBと隣接する場合にそれらを構成する四面体の頂点と接続する。

30

【0026】

血管BVの物性は、過大な計算量を必要とするため、計算の対象外としてもよい。

血管BVの表示は、血管BVの表面上に位置する三角形ポリゴンで構成する。

【0027】

なお血管BVの衝突、拘束、及び接続に関しては、上記血管BVの物性と同様、計算の対象外としてもよい。

【0028】

本実施形態では、血管BVの各頂点は、肝臓本体LBの四面体と対応する頂点との相対位置関係が与えられるものとし、対応関係が与えられた四面体ブロック内で定められた位置を維持することで、肝臓本体LBの変形に追従し、血管BVも変形する。これによって血管BVの物性、衝突、拘束及び接続についての計算を省略している。

40

【0029】

下大静脈IVCの物性は、肝臓本体LBと同様であるが、弾性係数は異なる。この弾性係数は、ユーザによる調整はできない。また、四面体ブロックの体積に応じた質量を設定することで、重力下に置かれる。

【0030】

下大静脈IVCの表示は、肝臓本体LBと同様に三角形のポリゴンで構成する。

【0031】

下大静脈IVCの衝突は、下大静脈の芯線と周辺に衝突点を配置するものとし、肝臓表面上の衝突点と相互作用するものとする。上記肝臓本体LBで示した如く、肝臓本体LB

50

と下大静脈 I V C の重なり合いを防止する。

【 0 0 3 2 】

下大静脈 I V C の拘束は、過度な変形を防ぐべく、上下端及び前後左右に拘束点の設定をすることで、設定した拘束より外部に出ることを抑制し、ユーザによる拘束 / 非拘束の選択はできないものとする。

【 0 0 3 3 】

下大静脈 I V C の接続は、四面体の頂点を接点として、肝臓本体 L B と隣接する場合にそれらを構成する四面体の頂点と接続する。

【 0 0 3 4 】

腫瘍 T M 及び胆嚢 G B の物性は、肝臓本体 L B と同様であるが、それぞれ弾性係数は異なる。本実施形態において弾性係数は、ユーザによる調整はできないものとする。また、四面体ブロックの体積に応じた質量を設定することで、重力下に置かれる。

10

【 0 0 3 5 】

腫瘍 T M 及び胆嚢 G B の表示は、肝臓本体 L B と同様に三角形のポリゴンで構成する。

【 0 0 3 6 】

腫瘍 T M 及び胆嚢 G B の衝突は、腫瘍 T M 及び胆嚢 G B 表面に位置する三角形のポリゴンの各頂点に衝突点が置かれるものとし、衝突対象は下大静脈 I V C として、腫瘍 T M 及び胆嚢 G B と下大静脈 I V C の重なり合いを防止する。

【 0 0 3 7 】

腫瘍 T M 及び胆嚢 G B の拘束は、過大な計算量を必要とするため、計算の対象外としてもよい。

20

【 0 0 3 8 】

腫瘍 T M 及び胆嚢 G B の接続は、四面体の頂点を接点として、肝臓本体 L B と隣接する場合にそれらを構成する四面体の頂点と接続する。

【 0 0 3 9 】

上記のようにして作成した四面体モデルをディスプレイに表示させた上で、C P U 1 1 はユーザの操作に基づく適宜更新を受付ける。

【 0 0 4 0 】

ここでユーザによる更新は、

- ( i ) 操作端 : 術中に肝臓表面を切開面を術者が切開処理を進めやすいよう開くために牽引する糸で固定して吊り下げる肝臓表面上の点。糸の張力に応じて肝臓の変形可。
  - ( ii ) 切 離 : 肝臓に設定した切離面に応じて肝臓を分離又は切開するように変形。
  - ( iii ) 拘 束 : 肝臓の変形を抑制する一つ又は複数の拘束点の位置。
  - ( iv ) 支配領域 : 肝臓全体ではなく、各種更新を行なう領域を限定してモデルを再構築。
- の 4 種類について設定及びその解除が可能であるものとする。

30

上記ステップ S 0 2 で、作成した四面体モデルをディスプレイに表示させた後、C P U 1 1 では、上記操作端が選択されたか否か ( ステップ S 0 3 )、上記切離が選択されたか否か ( ステップ S 0 5 )、上記拘束が選択されたか否か ( ステップ S 0 7 )、上記支配領域が選択されたか否か ( ステップ S 1 1 )、このシミュレーション処理を終了する操作が選択されたか否か ( ステップ S 1 3 ) を順次繰返し判断することで、これらのうちのいずれかが選択されるのを待機する。

40

【 0 0 4 1 】

ユーザにより操作端が選択された場合、C P U 1 1 は上記ステップ S 0 3 でその操作を受け付けて判断し、操作端を追加及び移動する具体的な処理に移行する ( ステップ S 0 4 )。

【 0 0 4 2 】

図 3 は、この操作端に関する処理内容を示すサブルーチンのフローチャートである。

その処理当初には、追加された操作端があれば、肝臓本体 L B 表面上の任意の位置をユーザの操作に応じて設定する ( ステップ S 1 0 1 )。C P U 1 1 は、このユーザによりあらたに設定された位置を、その時点で既に設定されている他の操作端と同様、1 点で接続

50

されている操作点 H P とさらに接続する (ステップ S 1 0 2 )。

【 0 0 4 3 】

操作点 H P は実際の手術において肝臓に取り付けた牽引系を引っ張る操作に対応しており、実際の手術を想定したシミュレーションが可能となる。

【 0 0 4 4 】

図 7 は、操作端追加時にディスプレイで表示される肝臓の画像を例示する図である。ここではすでに、肝臓本体 L B の表面上に複数の操作端が設定されており、複数の系で操作端と操作点 H P が接続されている状態を示す。

【 0 0 4 5 】

このような接続状態から、ユーザの任意の操作により操作点 H P を移動させる操作がある場合、操作点 H P と操作端それぞれの距離の変化量から牽引系での張力を勘案して、操作端が移動するか否かを C P U 1 1 が判断する (ステップ S 1 0 3 )。

【 0 0 4 6 】

ここで操作端の移動がないと判断した場合には、以上でこの図 3 のサブルーチンを終了すると共に、上記図 2 の処理に戻り、上記ステップ S 0 3 からの処理に復帰して、次のユーザの操作を待機する。

【 0 0 4 7 】

また上記ステップ S 0 3 でユーザの任意の操作により操作点 H P を移動させる操作があり、各索引系での張力を勘案して、操作端が移動すると判断した場合、C P U 1 1 は次に各操作端の移動により肝臓に加わる外力を、各四面体ブロックに設定された弾性係数を考慮して統括的に算出する (ステップ S 1 0 4 )。

【 0 0 4 8 】

次いで、算出した外力に応じて、四面体ブロックの集合体である四面体モデルが変形するように当該モデルの情報を更新設定する (ステップ S 1 0 5 )。そして、この更新に伴って、ディスプレイで表示する四面体モデルが変形するように更新した上で (ステップ S 1 0 6 )、この図 3 のサブルーチンを終了すると共に、上記図 2 の処理に戻り、上記ステップ S 0 3 からの処理に復帰して、次のユーザの操作を待機する。

【 0 0 4 9 】

この場合、ディスプレイで表示される肝臓の四面体モデルは、その構成部位である肝臓本体 L B、血管 B V、下大静脈 I V C、腫瘍 T M、及び胆嚢 G B 毎に定義した上記内容に基づいて変形する。

【 0 0 5 0 】

そのため、この P C 1 0 のユーザである医師は、患者の肝臓に対してどのような操作端を設定し、どのように操作点 H P の位置を移動させれば、肝臓全体がどのように変形するのか、をきわめて正確、且つ現実的にシミュレーション上で把握できる。

【 0 0 5 1 】

またユーザによる何らかの操作を待機する状態から、切離が選択された場合、C P U 1 1 は上記ステップ S 0 5 でその操作を受け付けて判断し、切離を実行する具体的な処理に移行する (ステップ S 0 6 )。

【 0 0 5 2 】

図 4 は、この切離に関する処理内容を示すサブルーチンのフローチャートである。

【 0 0 5 3 】

その処理当初には、ユーザの操作により切離する面位置を設定する (ステップ S 2 0 1 )。

【 0 0 5 4 】

この設定に伴って C P U 1 1 は、四面体モデルを構成する個々の四面体ブロックの各辺と、切離面との交点を算出し、あらたに 2 つの頂点を頂点のリストに登録する (ステップ S 2 0 2 )。次に C P U 1 1 は、四面体モデルを構成する個々の四面体ブロックの各面と、切離面との交点を算出する (ステップ S 2 0 3 )。このとき、切離面の外周辺が四面体ブロックの面と交差する場合は、面上にできる新しい頂点を一つ頂点リストに登録する。

10

20

30

40

50

## 【 0 0 5 5 】

上記ステップ S 2 0 2 , S 2 0 3 の処理により、CPU 1 1 は切離面の影響を受けた四面体ブロックを識別した上で、それら切離の影響を受けた個々の四面体ブロックに対し、予め用意された 5 つの分割パターン中、どの分割パターンに相当するのかを判定する（ステップ S 2 0 4 ）。

## 【 0 0 5 6 】

図 9 は、この 5 つの分割パターンを示す図である。図 9 ( A ) は、切離面が四面体の 6 本の辺中の 3 本と交差し、この三角形の切離面上には新しい頂点を作成しないパターン 1 を示す。

## 【 0 0 5 7 】

図 9 ( B ) は、切離面が四面体の 6 本の辺中の 4 本と交差し、切離する 2 つの 5 面体に分断するパターン 2 を示す。

## 【 0 0 5 8 】

図 9 ( C ) は、切離面が四面体の 6 本の辺中の 1 本のみと交差し、切離した 2 面上にそれぞれ新しい頂点を作成するパターン 3 を示す。

## 【 0 0 5 9 】

図 9 ( D ) は、切離面が四面体の 6 本の辺中の 2 本と交差し、切離した 2 面上にそれぞれ新しい頂点を作成するパターン 4 を示す。

## 【 0 0 6 0 】

図 9 ( E ) は、切離面が四面体の 6 本の辺中の 3 本と交差し、切離した 2 面上にそれぞれ新しい頂点を作成するパターン 5 を示す。

## 【 0 0 6 1 】

分割のパターン数を抑えるため、図 1 0 ( A ) 及び図 1 0 ( B ) に示すような、四面体の面が切開される時に切離面が辺を跨がないものが含まれる場合は、切離及び切開処理を行なわない。

切離面上に四面体の頂点がある場合は、頂点と交差し位置まで切離面を微小距離平行移動させるものとする。この場合、動かす方向は法線方向またはその反対方向とする。これは、頂点を切離面が横切る分割を行なわないようにするための処置である。

## 【 0 0 6 2 】

切離の影響を受けた四面体ブロックそれぞれに対して、上記ステップ S 2 0 4 で分割パターンの判定を行なった後、判定した分割パターンに基づいて各四面体ブロックをさらなる四面体ブロックとなるように分割処理を実行する（ステップ S 2 0 5 ）。

## 【 0 0 6 3 】

分割対象の四面体ブロックのうち、パターン 1 に該当するものをすべて分割し、その後パターン 2 ~ 5 までの四面体ブロックを分割する。パターン 2 ~ 5 の四面体ブロックは、登録されている順番に行なう。

## 【 0 0 6 4 】

パターン 1 の分割は、隣接する四面体の分割により共有面の分割が図 1 2 ( A ) , ( B ) で示すタイプ 1 - 3 の構成で確定している場合、8 つの子四面体に分割される。それ以外の場合は、4 つの子四面体に分かれる。四面体数が増えると計算負荷が大きくなるので、切離による計算負荷の増加量を減少させるために、パターン 1 を先に分割し、タイプ 1 - 3 の状態になるケースを減らしている。

## 【 0 0 6 5 】

分割対象の四面体の向きは複数存在するので、分割の前処理として該当する分割パターンに合わせ、分割対象の四面体の向きの標準化を行なう。向きの標準化とは、切離面と交点を持つ辺や面及び分割の定まっている面を、該当する分割パターン毎で設定された位置に回転や反転をさせ再配置することである。四面体は最大 4 つの四面体と隣接し、それぞれ 1 面が共有される。このため、片方の隣接した四面体で先に分割処理が行なわれた場合、面の分割はもう一方の四面体でも同様になる。

## 【 0 0 6 6 】

10

20

30

40

50



パターン1の向きの標準化は、図11(A)のタイプ1-1で示すように、切離面で分断される四面体側が上に向く配置に置き換える。向きの標準化で下側になる台形部の3つの四辺形は、それぞれ2つの三角形に分割されるので、隣接する四面体の分割状態によって、「四面体の各面の分割が定まっていない場合」「一面のみ分割が定まっている場合」「二面の分割が定まっている場合」及び「三面の分割が定まっている場合」の4つの状態がある。

【0067】

四面体の各面の分割が定まっていない場合は、図11(E)に示すタイプ1-チャイルド1のテーブルに従い、4つの子四面体に分割される。表の数値は各子四面体を構成する頂点の番号を示す。

10

【0068】

一面のみ分割が定まっている場合は、図11(B)のタイプ1-2のように、頂点番号2と8が分割されるよう向きの標準化を行ない、図11(E)に示すタイプ1-チャイルド1のテーブルに従って4つの子四面体に分割する。

【0069】

二面の分割が定まっている場合は、分割が定まっていない面が頂点1、2及び4で構成される面となるようにした上で、一つの分割が頂点2と頂点8を通るように配置すると、図11(C)に示すタイプ1-2、または図12(A)に示すタイプ1-2の構成になる。

【0070】

図11(C)に示すタイプ1-2の場合は、図11(E)に示すタイプ-チャイルド1のテーブルに従う一方で、図12(A)に示すタイプ1-2の場合は、図12(C)に示すタイプ1-チャイルド2のテーブルに従い、4つの子四面体に分割する。

20

【0071】

三面の分割が定まっている場合で、2つの分割線が交わる構成では、交わる頂点が頂点2になるように配置すると、図11(D)に示すタイプ1-2、または図13(B)に示すタイプ1-3のようになる。

【0072】

図11(D)に示すタイプ1-2の場合は、図11(E)に示すタイプ-チャイルド1の表に従う一方で、図13(B)に示すタイプ1-3の場合は、図12(C)に示すタイプ1-チャイルド2のテーブルに従い、4つの子四面体に分割される。

30

【0073】

三面の分割が定まっていて、図13(B)に示すタイプ1-3の構成の場合は、一つの分割が頂点2と頂点8を通るように配置し、図13(A)に示すタイプ1-3の構成のみにする。この図13(A)に示すタイプ1-3の構成では四面体に分割できないので、頂点6、8及び10で構成される面の頂点座標の相加平均位置にもう一つ頂点を加え、図13(C)に示すタイプ1-チャイルド3のテーブルに従い、8つの子四面体に分割する。

【0074】

パターン2の四面体は、図14(A)に示すタイプ2-1で表す通り5面体2つに分かれる。頂点1、3、5、7、9及び11で構成される5面体の頂点1、5、7及び3で構成される面と、頂点1、3、9及び11で構成される面は、隣接する四面体の分割の影響を受ける。

40

【0075】

分割が定まっていない場合は、頂点1、5、7及び3で構成される面は、頂点1と頂点9で分割し、頂点1、3、9及び11で構成される面は、頂点1と頂点7で分割する。

【0076】

隣接する四面体の分割による面の分割の組み合わせは、図14(C)に示すタイプ2-トップ1、図14(E)に示すタイプ2-トップ2、図14(G)に示すタイプ2-トップ3、及び図14(I)に示すタイプ2-トップ4のいずれかに必ず合致するので、それぞれ、図14(B)に示すタイプ2-チャイルド-トップ1のテーブル、図14(D)に示

50

すタイプ 2 - チャイルド - トップ 2 のテーブル、図 1 4 ( F ) に示すタイプ 2 - チャイルド - トップ 3 のテーブル、及び図 1 4 ( H ) に示すタイプ 2 - チャイルド - トップ 4 のテーブルのいずれか 1 つに従い、3 つの子四面体に分割する。

【 0 0 7 7 】

頂点 2 , 4 , 6 , 8 , 1 0 及び 1 2 で構成される 5 面体は、頂点 2 , 4 , 8 及び 1 0 で構成される面と、頂点 2 , 4 , 6 及び 1 2 で構成される面は、隣接する四面体の分割の影響を受ける。

【 0 0 7 8 】

分割が定まっていない場合は、頂点 2 , 4 , 8 及び 1 0 で構成される面は頂点 2 と頂点 1 0 で分割し、頂点 2 , 4 , 6 及び 1 2 で構成される面は、頂点 2 と頂点 1 2 で分割する。

10

【 0 0 7 9 】

隣接する四面体の分割による面の分割の組み合わせは、図 1 5 ( B ) に示すタイプ 2 - ボトム 1、図 1 5 ( D ) に示すタイプ 2 - ボトム 2、図 1 5 ( F ) に示すタイプ 2 - ボトム 3、及び図 1 5 ( H ) に示すタイプ 2 - ボトム 4 のいずれかに必ず合致するので、それぞれ、図 1 5 ( A ) に示すタイプ 2 - チャイルド - ボトム 1 のテーブル、図 1 5 ( C ) に示すタイプ 2 - チャイルド - ボトム 2 のテーブル、図 1 5 ( E ) に示すタイプ 2 - チャイルド - ボトム 3 のテーブル、及び図 1 5 ( G ) に示すタイプ 2 - チャイルド - ボトム 4 のテーブルのいずれかに従い、3 つの子四面体に分割する。2 つの 5 面体をそれぞれ 3 つの四面体に分割するので、パターン 2 の子四面体は合計 6 つになる。

20

【 0 0 8 0 】

上記図 1 4 ( C ) に示すタイプ 2 - トップ 1 と上記図 1 4 ( E ) に示すタイプ 2 - トップ 2 は、頂点 5 , 7 , 9 及び 1 1 で構成される面を、頂点 5 と頂点 9 を通る線で分割する構成だが、頂点 7 と頂点 1 1 を通る線で分割する構成にしても分割は機能する。

上記図 1 5 ( B ) に示すタイプ 2 - ボトム 1 と上記図 1 5 ( D ) に示すタイプ 2 - ボトム 2 も同様に、頂点 6 , 8 , 1 0 及び 1 2 で構成される面を頂点 6 と頂点 1 0 を通る線で分割する構成だが、頂点 8 と頂点 1 2 を通る線で分割する構成にしても分割は機能する。

【 0 0 8 1 】

パターン 3 の四面体は、図 1 6 ( A ) で示すタイプ 3 の構成のように、隣接四面体との共有面の分割は一通りのみなので、図 1 6 ( B ) に示すタイプ 3 - チャイルドのテーブルに従い、6 つの子四面体に分割する。

30

【 0 0 8 2 】

パターン 4 の四面体は、切離面により 2 分される面を頂点 1、2 及び 3 に配置すると、図 1 7 ( A ) で示すタイプ 4 - 1 の構成となる。この面は、四面体と隣接する場合、頂点 2 , 3 , 8 及び 1 0 で構成される面が分割の影響を受ける。頂点 1 , 2 及び 4 で構成される面と、頂点 1 , 3 及び 4 で構成される面は、分割は一通りで確定しており、隣接する四面体の分割の影響は受けない。

【 0 0 8 3 】

頂点 2 , 3 , 8 及び 1 0 で構成される面の分割が未確定の場合、頂点 2 と頂点 1 0 で分割する。その場合、図 1 7 ( B ) に示すタイプ 4 - チャイルド - コモンの表と、図 1 7 ( C ) に示すタイプ 4 - チャイルド 1 のテーブルに従い、8 つの子四面体に分割する。

40

【 0 0 8 4 】

頂点 2 , 3 , 8 及び 1 0 で構成される面の分割が、頂点 2 と頂点 1 0 で分割されることが確定している場合も同様に、図 1 7 ( B ) に示すタイプ 4 - チャイルド - コモンの表と、図 1 7 ( C ) に示すタイプ 4 - チャイルド 1 のテーブルに従い、8 つの子四面体に分割する。

【 0 0 8 5 】

頂点 2 , 3 , 8 及び 1 0 で構成される面の分割が、頂点 3 と頂点 8 で分割されることが図 1 7 ( E ) のタイプ 4 - 3 で示すように確定している場合は、図 1 7 ( B ) に示すタイプ 4 - チャイルド - コモンの表と、図 1 7 ( D ) に示すタイプ 4 - チャイルド 2 のテーブ

50

ルに従い、8つの子四面体に分割する。

【0086】

パターン5の四面体は、切離面によって2分される面を頂点1、2及び4で構成される面と、頂点1、2及び3で構成される面に配置すると、図18(A)で示すタイプ5-1の構成となる。頂点1、3、7及び9で構成される面と、頂点2、4、8及び12で構成される面は、隣接する四面体の分割の影響を受ける。頂点1、3、7、9及び5で、頂点1、3、7及び9で構成される面を底面とする四角錐を構成する。

【0087】

この四角錐は、頂点3と頂点7または頂点1と頂点9で分割することで2つの四面体に分けられる。図19(C)で示すタイプ5-2の構成のように、頂点1、3、7及び9で構成される面の分割が頂点3と頂点7である場合と未確定の場合は、図19(A)に示すタイプ5-チャイルド-トップ1のテーブルに従い、2つの子四面体に分割する。

10

【0088】

図19(D)に示すタイプ5-3の構成のように、頂点1と頂点9で分割が確定している場合は、図19(B)に示すタイプ5-チャイルド-トップ2のテーブルに従い、2つの子四面体に分割する。

【0089】

頂点2、4、8、12及び6で、頂点2、4、8及び12で構成する面を底面とする四角錐を構成する。この四角錐は頂点4、8または頂点2、12で分割することで、2つの四面体に分けられる。

20

【0090】

図19(G)に示すタイプ5-4の構成のように頂点2、4、8及び12で構成する面が頂点4と頂点8で分割されることが確定している場合と、分割が未確定の場合は、図19(E)に示すタイプ5-チャイルド-ボトム1の表に従い、2つの四面体に分割する。

【0091】

図19(H)に示すタイプ5-5の構成のように頂点2と頂点12で分割されることが確定している場合は、図19(F)に示すタイプ5-チャイルド-ボトム2のテーブルに従い、2つの四面体に分割する。

残りの部分は隣接する四面体の分割に影響されないので、図18(B)に示すタイプ5-チャイルド-コモンのテーブルに従い、5つの四面体に分割する。

30

結果として、パターン5の四面体は合計9つの子四面体に分割される。

【0092】

この分割処理に際しては、切離面と四面体の辺または面の交差判定を一度行ない、切離で生成される頂点位置を頂点位置の配列に収め、その後四面体の分割には頂点配列の配列番号を用いて頂点と四面体の対応付けを行なう。予めルックアップテーブル(分割パターンテーブル)を用い、分割パターン毎に元の四面体ブロックの頂点、及び切離範囲を表す四面体ブロックの边上及び面上の点位置の各3次元位置座標を入力することにより、あらたな分割後の四面体ブロックの各頂点の3次元位置座標は頂点位置の配列番号から得られるようになっている。

【0093】

したがって、パターンの判定を行なうと、その判定結果に応じて元の四面体ブロックから複数に分割した四面体ブロックが少ない計算量で自動的に生成できる。

40

【0094】

図20~図22は、上記分割パターンテーブルを取り纏めて示す図である。

図20(A)は、タイプ1の分割パターンテーブルを示す。チャイルド1~3のテーブルのうち、適合した分割を行ない、4つまたは8つの子四面体が生成される。

【0095】

図20(B)は、タイプ2の分割パターンテーブルを示す。上部4種のチャイルド-トップ1~4のテーブルと、チャイルド-ボトム1~4のテーブルからそれぞれ適合した分割を組み合わせ、6つの子四面体が生成される。

50

## 【 0 0 9 6 】

図 2 1 ( A ) は、タイプ 3 の分割パターンテーブルを示す。1 種のチャイルドのテーブルから 6 つの子四面体が生成される。

## 【 0 0 9 7 】

図 2 1 ( B ) は、タイプ 4 の分割パターンテーブルを示す。隣接する四面体の分割に影響を受ける部分の 2 種類の分割のうちで適合するものと、影響を受けない部分の分割の組み合わせを行なうべく、1 種のチャイルド - コモンのテーブルを共通とし、2 種のチャイルド 1, 2 のテーブルとを組み合わせ、8 つの子四面体が生成される。

## 【 0 0 9 8 】

図 2 2 は、タイプ 5 の分割パターンテーブルを示す。隣接する四面体の分割に影響を受ける上下 2 つの部分にそれぞれ 2 種類の分割パターンがある。隣接する四面体の分割に影響を受けない共通部分と、影響を受ける上下の部分からそれぞれ適合する分割を組み合わせるべく、1 種のチャイルド - コモンのテーブルと、2 種のチャイルド - トップ 1, 2 のテーブル、2 種のチャイルド - ボトム 1, 2 のテーブルとを組み合わせ、10 個の子四面体が生成される。

10

## 【 0 0 9 9 】

こうして切離の影響を受けたすべての四面体ブロックに対してその分割パターン毎にあらたな四面体ブロックを算出した時点で、CPU 11 は四面体モデルから上記切離の影響を受けた、すべての四面体ブロックを一旦取り除き、分割後の四面体ブロックを追加することで、四面体モデルに関する情報を更新して表示した上で (ステップ S 2 0 6)、以上

20

## 【 0 1 0 0 】

図 8 は、このときディスプレイで表示される、一部が切離された四面体モデルを例示するものである。同図中、切離された部位 CT をハッチングで示すように、当該部分 CT における切離に伴う変形、及び血管 BV 等の存在が容易に視認できる。

## 【 0 1 0 1 】

またユーザによる何らかの操作を待機する状態から、拘束が選択された場合、CPU 11 は上記ステップ S 0 7 でその操作を受け付けて判断し、拘束点を追加または削除する具体的な処理に移行する (ステップ S 0 8)。

## 【 0 1 0 2 】

この拘束点の追加または削除の処理に際して、CPU 11 は予め用意している拘束ツールのサブルーチンと呼出して起動し、当該ツールの状態にしたがってユーザの操作に伴う拘束点の選択処理を順次実行することで、選択された拘束点の追加または既に選択されている拘束点の削除が実行できる。こうして更新した拘束点の結果に応じて、肝臓の変形を抑制する肝膜を考慮した四面体モデルの計算が可能となる。

30

また上記ユーザによる何らかの操作を待機する状態から、支配領域が選択された場合、CPU 11 は上記ステップ S 1 1 でその操作を受け付けて判断し、支配領域モデルを追加または削除する具体的な処理に移行する (ステップ S 1 2)。

## 【 0 1 0 3 】

この支配領域モデルの処理に際して、まず CPU 11 は一旦その時点で四面体モデル全体に関するシミュレーションを停止し、支配領域モードに移行する。

40

## 【 0 1 0 4 】

この支配領域モードにおいて、CPU 11 は血管経路等の準備計算を行なった後、ユーザからの操作を受け付けて経路を選択し、選択された経路に基づいて支配領域モデルを追加する。

## 【 0 1 0 5 】

図 2 3 は、このときディスプレイで表示される、四面体モデルの支配領域モデル MA を例示するものである。同図中、支配領域モデル MA をハッチングで示すように、当該支配領域モデル MA から、同領域内の血管経路が容易に視認できる。

## 【 0 1 0 6 】

50

また、既に追加されている支配領域モデルを削除する場合には、ユーザからの操作を受け付けて、支配領域モデルを削除する。

支配領域モデルの追加または削除の処理実行後、上記ステップ S 0 3 からの処理に戻る。

#### 【 0 1 0 7 】

また上記ユーザによる何らかの操作を待機する状態から、このシミュレーション処理を終了する操作が選択された場合、CPU 1 1 は上記ステップ S 1 3 でその操作を受け付けて判断し、それまでに作成した四面体モデルに関する各種画像データを取り纏めて 1 つのデータフォルダを作成してハードディスク装置 2 0 内の所定の位置に登録した後（ステップ S 1 4 ）、以上でこの図 2 の処理を終了する。

10

#### 【 0 1 0 8 】

以上詳述した如く本実施形態によれば、軟物質で構成される臓器の変形度合い等を考慮して実際の手術時を想定しながら画像による各種シミュレーションが可能となる。

#### 【 0 1 0 9 】

また上記実施形態においては、四面体モデルに対する切離の操作を受け付けて、受け付けた切離面を一部でも横断する四面体ブロック毎に、予め複数の切離パターンに関する切離演算を記憶した分割パターンテーブルを用いて複数の四面体ブロックに分割するように、上記四面体モデルを再作成するようにしたので、切離に対する演算処理量を大幅に軽減し、演算能力の高い専用ワークステーションではなくパーソナルコンピュータでも十分にシミュレーションが実現可能となる。

20

#### 【 0 1 1 0 】

加えて変形の受付に関して、四面体モデルに対する変形を操作 / 抑制する基点をモデル上に設定可能とすることで、操作端の追加 / 移動 / 操作点 H P への接続や、臓器の自重で変形するのを抑制する拘束の設定など、実際の施術時を想定したより現実的な操作が実現できる。

#### 【 0 1 1 1 】

なお上記実施形態では、シミュレーション対象の臓器が肝臓である場合について説明したが、内部が空洞ではなく、構成する要素が密に充填されている肝臓のような臓器を対象とした場合、特に本発明による変形を含むシミュレーションを活用し易く、術前の検証等に大きく寄与できる。

30

#### 【 0 1 1 2 】

なお上記実施形態は、診断対象となる臓器が肝臓である場合について説明したが、本発明は臓器を肝臓に限ることなく、他の臓器においても、同様に適用することが可能となる。

#### 【 0 1 1 3 】

その他、本発明は上述した実施形態に限定されるものではなく、実施段階ではその要旨を逸脱しない範囲で種々に変形することが可能である。また、上述した実施形態で実行される機能は可能な限り適宜組み合わせる実施しても良い。上述した実施形態には種々の段階が含まれており、開示される複数の構成要件による適宜の組み合わせにより種々の発明が抽出され得る。例えば、実施形態に示される全構成要件からいくつかの構成要件が削除されても、効果が得られるのであれば、この構成要件が削除された構成が発明として抽出され得る。

40

#### 【 符号の説明 】

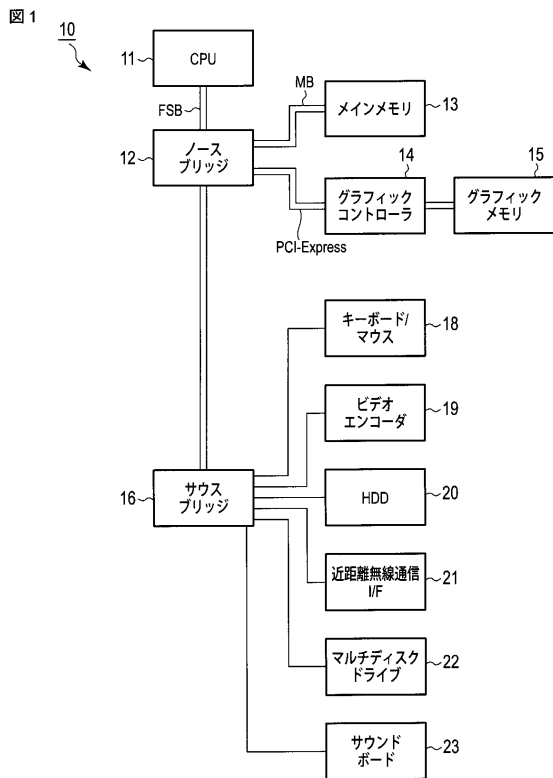
#### 【 0 1 1 4 】

1 0 ... パーソナルコンピュータ ( P C )、1 1 ... C P U、1 2 ... ノースブリッジ、1 3 ... メインメモリ、1 4 ... グラフィックコントローラ、1 5 ... グラフィックメモリ、1 6 ... サウスブリッジ、1 8 ... キーボード / マウス、1 9 ... ビデオエンコーダ、2 0 ... ハードディスク装置 ( H D D )、2 1 ... ネットワークインタフェース ( I / F )、2 2 ... マルチディスクドライブ、2 3 ... サウンドボード、B V ... 血管、C T ... 切離部位、F S B ... フロントサイドバス、G B ... 胆嚢、H P ... 操作点、I V C ... 下大静脈、L B ... 肝臓本体、M A ...

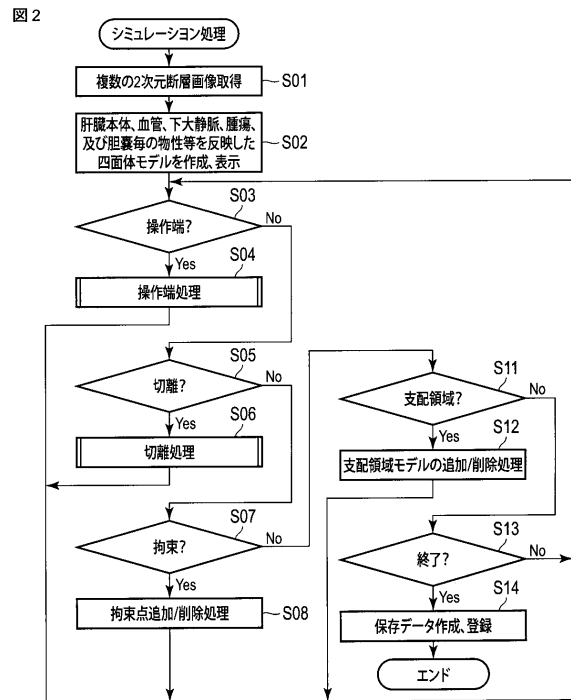
50

支配領域モデル、MB...メモリバス、TM...腫瘍。

【図1】

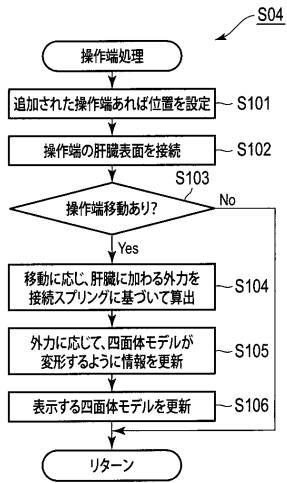


【図2】



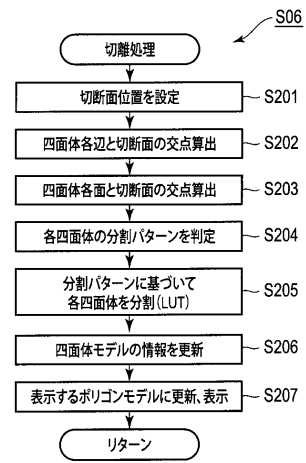
【 図 3 】

図 3



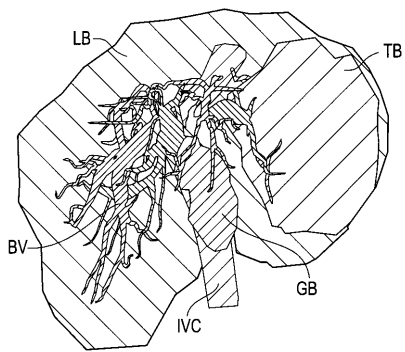
【 図 4 】

図 4



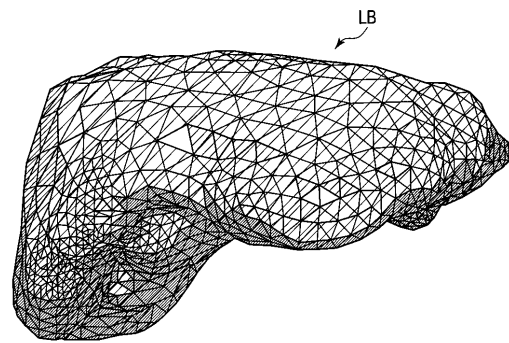
【 図 5 】

図 5



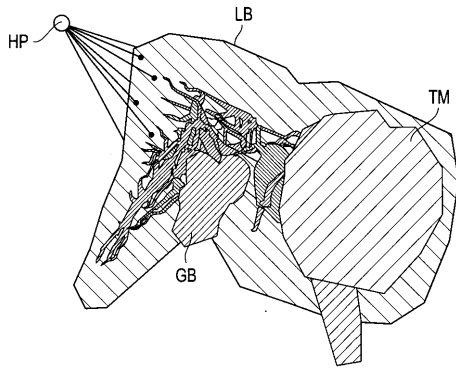
【 図 6 】

図 6



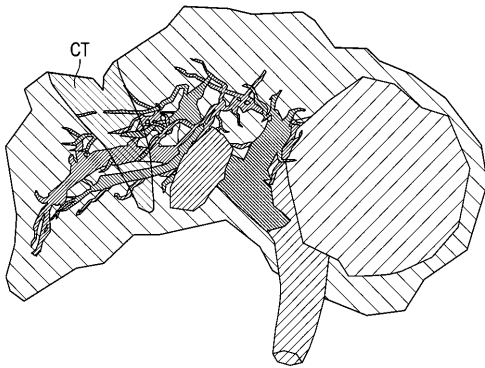
【 図 7 】

図 7



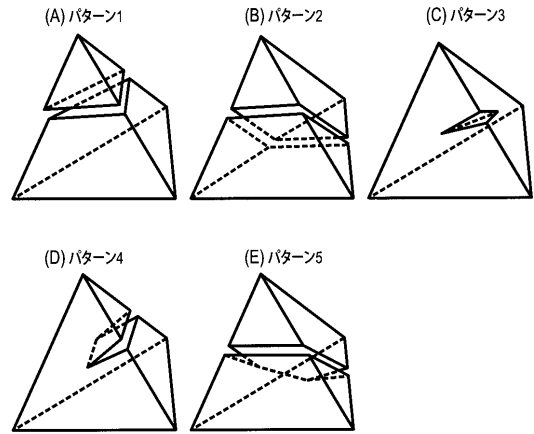
【 図 8 】

図 8



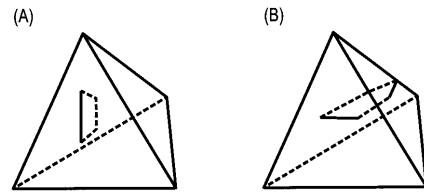
【 図 9 】

図 9



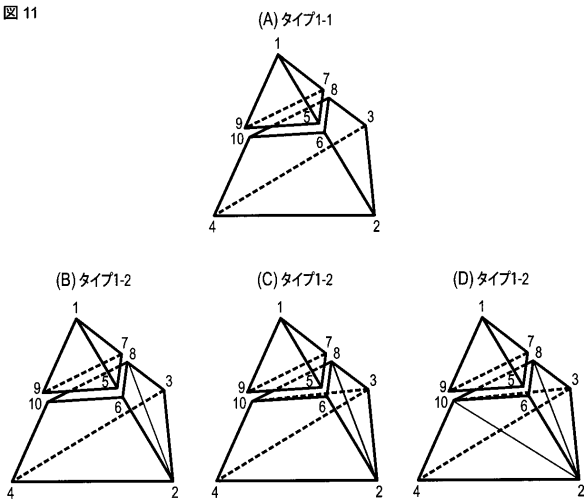
【 図 10 】

図 10



【 図 11 】

図 11

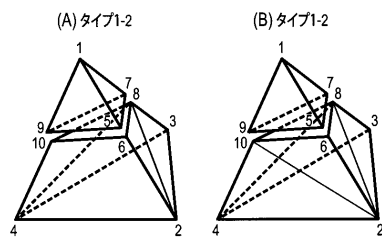


(E) タイプ1-チャイルド1

No.	頂点番号
1	1,5,7,9
2	2,6,8,10
3	2,3,4,8
4	2,4,8,10

【 図 12 】

図 12



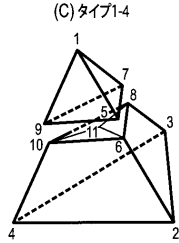
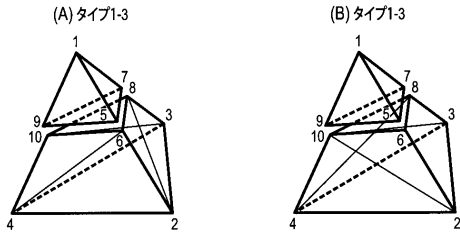
(C) タイプ1-チャイルド2

No.	頂点番号
1	1,5,7,9
2	2,6,8,10
3	2,3,4,10
4	2,3,8,10



【 図 1 3 】

図 13

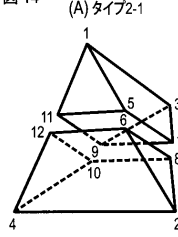


(D) タイプ1-チャイルド3

No.	頂点番号
1	1,5,7,9
2	11,2,6,8
3	11,2,3,8
4	11,3,8,10
5	11,4,8,10
6	11,4,6,10
7	11,2,6,4
8	11,2,3,4

【 図 1 4 】

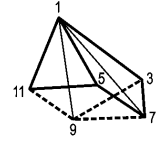
図 14



(B) タイプ2-チャイルド-トップ1

No.	頂点番号
1	1,3,7,9
2	1,5,7,9
3	1,5,9,11

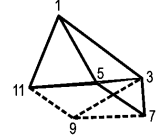
(C) タイプ2-トップ1



(D) タイプ2-チャイルド-トップ2

No.	頂点番号
1	1,3,5,11
2	3,5,7,9
3	3,5,9,11

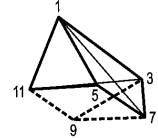
(E) タイプ2-トップ2



(F) タイプ2-チャイルド-トップ3

No.	頂点番号
1	1,5,7,11
2	1,3,7,11
3	3,7,9,11

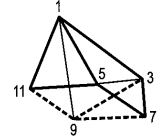
(G) タイプ2-トップ3



(H) タイプ2-チャイルド-トップ4

No.	頂点番号
1	3,5,7,9
2	1,3,5,9
3	1,5,9,11

(I) タイプ2-トップ4



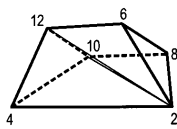
【 図 1 5 】

図 15

(A) タイプ2-チャイルド-ボトム1

No.	頂点番号
1	2,4,10,12
2	2,6,8,10
3	2,6,10,12

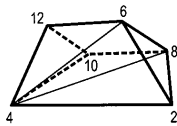
(B) タイプ2-ボトム1



(C) タイプ2-チャイルド-ボトム2

No.	頂点番号
1	2,4,6,8
2	4,6,8,10
3	4,6,10,12

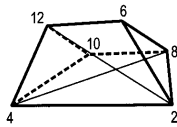
(D) タイプ2-ボトム2



(E) タイプ2-チャイルド-ボトム3

No.	頂点番号
1	2,6,8,12
2	2,4,8,12
3	4,8,10,12

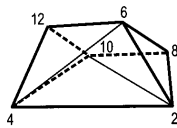
(F) タイプ2-ボトム3



(G) タイプ2-チャイルド-ボトム4

No.	頂点番号
1	4,6,10,12
2	2,4,6,10
3	2,6,8,10

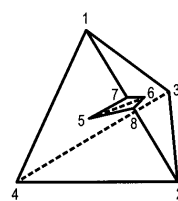
(H) タイプ2-ボトム4



【 図 1 6 】

図 16

(A) タイプ3

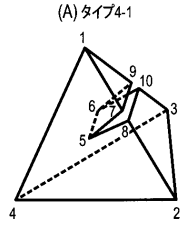


(B) タイプ3-チャイルド

No.	頂点番号
1	1,5,6,7
2	2,5,6,8
3	1,3,5,6
4	2,3,5,6
5	1,3,4,5
6	2,3,4,5

【 図 1 7 】

図 17



(B) タイプ4-チャイルド-コモン

No.	頂点番号
1	1,5,6,7
2	1,6,7,9
3	1,4,5,6
4	2,4,5,6
5	2,3,4,6
6	2,5,6,8

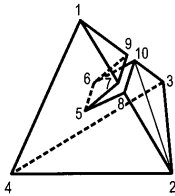
(C) タイプ4-チャイルド1

No.	頂点番号
7	2,6,8,10
8	2,3,6,10

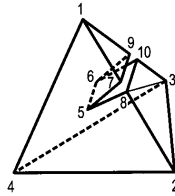
(E) タイプ4-チャイルド2

No.	頂点番号
7	3,6,8,10
8	2,3,6,8

(D) タイプ4-2



(F) タイプ4-3



【 図 1 9 】

図 19

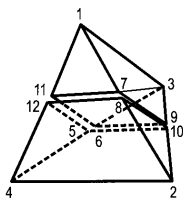
(A) タイプ5-チャイルド-トップ1

No.	頂点番号
6	1,3,5,7
7	3,5,7,9

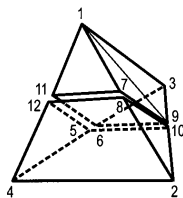
(B) タイプ5-チャイルド-トップ2

No.	頂点番号
6	1,5,7,9
7	1,3,5,9

(C) タイプ5-2



(D) タイプ5-3



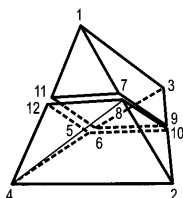
(E) タイプ5-チャイルド-トップ1

No.	頂点番号
8	2,4,6,8
9	4,6,8,12

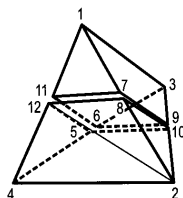
(F) タイプ5-チャイルド-トップ2

No.	頂点番号
8	2,4,6,12
9	2,6,8,12

(G) タイプ5-4

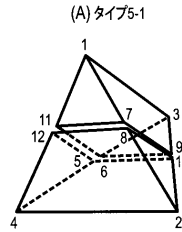


(H) タイプ5-5



【 図 1 8 】

図 18



(B) タイプ5-チャイルド-コモン

No.	頂点番号
1	1,5,7,11
2	3,4,5,6
3	4,5,6,12
4	2,6,8,10
5	3,5,6,9

【 図 2 0 】

図 20

(A) 分割パターンテーブル(タイプ1)

子四面体の番号	タイプ1		
	チャイルド1	チャイルド2	チャイルド3
1	1,5,7,9	1,5,7,9	1,5,7,9
2	2,6,8,10	2,6,8,10	11,2,6,8
3	2,3,4,8	2,3,4,10	11,2,3,8
4	2,4,8,10	2,3,8,10	11,3,8,10
5			11,4,8,10
6			11,4,6,10
7			11,2,6,4
8			11,2,3,4

(B) 分割パターンテーブル(タイプ2)

子四面体の番号	タイプ2			
	チャイルド-トップ1	チャイルド-トップ2	チャイルド-トップ3	チャイルド-トップ4
1	1,3,7,9	3,5,7,9	1,3,7,11	3,5,9,11
2	1,3,5,11	1,5,7,9	1,3,5,9	3,7,9,11
3	1,5,7,11	3,5,7,9	1,5,9,11	1,5,9,11
	チャイルド-ボトム1	チャイルド-ボトム2	チャイルド-ボトム3	チャイルド-ボトム4
4	2,4,10,12	2,4,6,8	2,6,8,12	4,6,10,12
5	2,6,8,10	4,6,8,10	2,4,8,12	2,4,6,10
6	2,6,10,12	4,6,10,12	4,8,10,12	2,6,8,10

【 図 2 1 】

図 21

(A) 分割パターンテーブル(タイプ3)

子四面体の番号	タイプ3
	チャイルド
1	1,5,6,7
2	2,5,6,8
3	1,3,5,6
4	2,3,5,6
5	1,3,4,5
6	2,3,4,5

(B) 分割パターンテーブル(タイプ4)

子四面体の番号	タイプ4	
	チャイルド-コモン(共通)	
1	1,5,6,7	
2	1,6,7,9	
3	1,4,5,6	
4	2,4,5,6	
5	2,3,4,6	
6	2,5,6,8	
	チャイルド1	チャイルド2
7	2,6,8,10	2,6,8,10
8	2,3,6,10	2,3,6,8

【 図 2 2 】

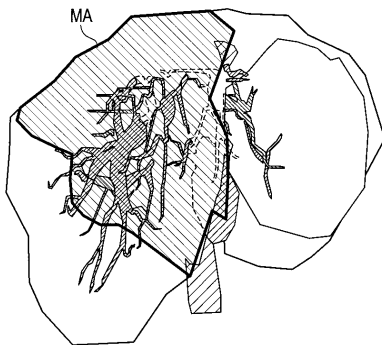
図 22

分割パターンテーブル

子四面体の番号	タイプ5	
	チャイルド-コモン(共通)	
1	1,5,6,7	
2	2,5,6,8	
3	1,3,5,6	
4	2,3,5,6	
5	1,3,4,5	
6	2,3,4,5	
	チャイルド-トップ1	チャイルド-トップ2
7	1,3,7,9	1,3,5,11
8	1,5,7,9	3,5,7,9
	チャイルド-ボトム1	チャイルド-ボトム2
9	1,3,7,9	1,3,5,11
10	1,5,7,9	3,5,7,9

【 図 2 3 】

図 23



## フロントページの続き

- (74)代理人 100095441  
弁理士 白根 俊郎
- (74)代理人 100075672  
弁理士 峰 隆司
- (74)代理人 100119976  
弁理士 幸長 保次郎
- (74)代理人 100153051  
弁理士 河野 直樹
- (74)代理人 100140176  
弁理士 砂川 克
- (74)代理人 100158805  
弁理士 井関 守三
- (74)代理人 100172580  
弁理士 赤穂 隆雄
- (74)代理人 100179062  
弁理士 井上 正
- (74)代理人 100124394  
弁理士 佐藤 立志
- (74)代理人 100112807  
弁理士 岡田 貴志
- (74)代理人 100111073  
弁理士 堀内 美保子
- (74)代理人 100134290  
弁理士 竹内 将訓
- (72)発明者 大河内 信弘  
茨城県つくば市天王台一丁目1番1 国立大学法人筑波大学内
- (72)発明者 大城 幸雄  
茨城県つくば市天王台一丁目1番1 国立大学法人筑波大学内
- (72)発明者 清徳 省雄  
東京都豊島区巣鴨3丁目3番6号 巣鴨共同計画ビル9階 株式会社レキシー内
- (72)発明者 伊藤 正博  
東京都豊島区巣鴨3丁目3番6号 巣鴨共同計画ビル9階 株式会社レキシー内
- Fターム(参考) 4C093 AA22 FF16 FF42  
4C096 AC05 AD14 DC19 DC36