

(19) 日本国特許庁 (JP)

(12) 特 許 公 報 (B2)

(11) 特許番号

特許第5248958号
(P5248958)

(45) 発行日 平成25年7月31日 (2013. 7. 31)

(24) 登録日 平成25年4月19日 (2013. 4. 19)

(51) Int. Cl.	F I
G 0 6 F 3/041 (2006.01)	G 0 6 F 3/041 3 8 O K
G 0 9 G 5/36 (2006.01)	G 0 9 G 5/36 5 1 O V
G 0 9 G 5/14 (2006.01)	G 0 9 G 5/14 A
G 0 6 F 17/50 (2006.01)	G 0 6 F 17/50 6 2 6 G

請求項の数 8 (全 22 頁)

(21) 出願番号	特願2008-231398 (P2008-231398)	(73) 特許権者	511219744
(22) 出願日	平成20年9月9日 (2008. 9. 9)		岡本 孝司
(65) 公開番号	特開2010-66920 (P2010-66920A)		東京都文京区本郷七丁目3番1号 国立大 学法人東京大学工学部 原子力別館318
(43) 公開日	平成22年3月25日 (2010. 3. 25)	(74) 代理人	110000017
審査請求日	平成23年9月8日 (2011. 9. 8)		特許業務法人アイテック国際特許事務所
		(72) 発明者	岡本 孝司
			東京都文京区本郷七丁目3番1号 国立大 学法人東京大学内
		(72) 発明者	岩丸 雅紀
			東京都文京区本郷七丁目3番1号 国立大 学法人東京大学内
		審査官	遠藤 尊志
			最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 3次元位置指定装置、3次元位置指定用プログラム、ボクセルモデリング装置およびボクセルモデリング用プログラム

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

3次元空間における3次元位置を指定するための3次元位置指定装置であって、
 2次元空間上で2次元位置を指定するための2次元位置指定手段と、
 8^N 個（ただし“N”は値1以上の整数である。）の正方形領域の配列を有する第N段階のシェルピンスキー・カーペットの前記2次元位置指定手段を用いて指定された2次元位置に対応する正方形領域を所定の対応規則に従ってボクセル空間を構成する $2^N \times 2^N \times 2^N$ 個のボクセルの何れか1個に対応付けすると共に、前記正方形領域に対応付けられた前記1個のボクセルの前記ボクセル空間における位置に基づいて前記3次元空間における3次元位置を取得する演算手段と、
 を備える3次元位置指定装置。

【請求項 2】

請求項1に記載の3次元位置指定装置において、
 前記対応規則は、第1段階のシェルピンスキー・カーペットを構成する8個の正方形領域と1つのボリュームを構成する $2 \times 2 \times 2$ 個のボクセルとの対応関係を規定しており、
 前記演算手段は、第n段階（ただし、“n”は $1 \leq n \leq N$ を満たす整数である。）のシェルピンスキー・カーペットの前記指定された2次元位置に対応する正方形領域の第n-1段階のシェルピンスキー・カーペットの前記指定された2次元位置に対応する正方形領域における位置と前記対応規則とに基づいて $2^n \times 2^n \times 2^n$ 個のボクセルからなるボクセル空間内で前記指定された2次元位置に対応するボクセルの $2^{n-1} \times 2^{n-1} \times 2^{n-1}$ 個のボ

クセルからなるボクセル空間内で前記指定された 2 次元位置に対応するボクセルにおける位置を取得し、取得した n 個のボクセルの位置に基づいて前記 3 次元空間における 3 次元位置を取得する 3 次元位置指定装置。

【請求項 3】

請求項 1 または 2 に記載の 3 次元位置指定装置において、

前記変換規則は、前記第 1 段階のシェルピンスキー・カーペットの 8 個の正方形領域をこれらに対して定められた一筆書きの経路上での順番に従って $2 \times 2 \times 2$ 個のボクセルに対して一筆書きの経路を辿るように割り当てる規則である 3 次元位置指定装置。

【請求項 4】

請求項 1 から 3 の何れか一項に記載の 3 次元位置指定装置において、

表示画面上に画像を表示可能な表示手段と、

前記表示画面上に前記第 N 段階のシェルピンスキー・カーペットに基づく画像を表示させると共に、前記演算手段により取得された 3 次元位置を示す 3 次元座標を前記表示画面上にプロット表示させる表示制御手段と、

を更に備える 3 次元位置指定装置。

【請求項 5】

請求項 4 に記載の 3 次元位置指定装置において、

前記表示制御手段は、前記演算手段により取得された 3 次元位置を示す 3 次元座標を前記表示画面上にプロット表示させると共に、前記 3 次元位置の周囲に所定サイズのボクセルに基づく画像を表示させる 3 次元位置指定装置。

【請求項 6】

コンピュータを 3 次元空間における 3 次元位置を指定するための装置として機能させる 3 次元位置指定用プログラムであって、

2 次元空間上で指定された 2 次元位置を特定する 2 次元位置特定モジュールと、

8^N 個（ただし“ N ”は値 1 以上の整数である。）の正方形領域の配列を有する第 N 段階のシェルピンスキー・カーペットの 前記特定された 2 次元位置に対応する正方形領域を所定の対応規則に従ってボクセル空間を構成する $2^N \times 2^N \times 2^N$ 個のボクセルの何れか 1 個に対応付けすると共に、前記正方形領域に対応付けられた前記 1 個のボクセルの前記ボクセル空間における位置に基づいて前記 3 次元空間における 3 次元位置を取得する演算モジュールと、

を備える 3 次元位置指定用プログラム。

【請求項 7】

3 次元形状をボクセルの集合として表現可能なボクセルモデリング装置であって、

2 次元空間上で 2 次元位置を指定するための 2 次元位置指定手段と、

8^N 個（ただし“ N ”は値 1 以上の整数である。）の正方形領域の配列を有する第 N 段階のシェルピンスキー・カーペットの 前記 2 次元位置指定手段を用いて指定された 2 次元位置に対応する正方形領域を所定の対応規則に従ってボクセル空間を構成する $2^N \times 2^N \times 2^N$ 個のボクセルの何れか 1 個に対応付けすると共に、前記正方形領域に対応付けられた前記 1 個のボクセルの前記ボクセル空間における位置を取得する位置取得手段と、

前記位置取得手段により取得された位置のボクセルに基づいて 3 次元形状を設定する形状設定手段と、

を備えるボクセルモデリング装置。

【請求項 8】

3 次元形状をボクセルの集合として表現するための装置としてコンピュータを機能させるボクセルモデリング用プログラムであって、

2 次元空間上で指定された 2 次元位置を特定する 2 次元位置特定モジュールと、

8^N 個（ただし“ N ”は値 1 以上の整数である。）の正方形領域の配列を有する第 N 段階のシェルピンスキー・カーペットの 前記特定された 2 次元位置に対応する正方形領域を所定の対応規則に従ってボクセル空間を構成する $2^N \times 2^N \times 2^N$ 個のボクセルの何れか 1 個に対応付けすると共に、前記正方形領域に対応付けられた前記 1 個のボクセルの前記ボ

10

20

30

40

50

クセル空間における位置を取得する位置取得モジュールと、前記取得された位置のボクセルに基づいて3次元形状を設定する形状設定モジュールと、

備えるボクセルモデリング用プログラム。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、3次元空間における3次元位置を指定するための3次元位置指定装置、3次元位置指定方法および3次元位置指定用プログラム、ならびに3次元形状をボクセルの集合として表現するためのボクセルモデリング装置、ボクセルモデリング方法およびボクセルモデリング用プログラムに関する。

10

【背景技術】

【0002】

コンピュータの演算性能やグラフィック性能の向上に伴い、3次元CAD (Computer Aided Design) を用いた設計や3次元CG (Computer Graphics) 等が広く普及しており、近年では、3次元表示空間における情報の表示や操作を可能とする3次元CGをベースとした3次元GUI (Graphical User Interface) 等も提案されている。そして、従来から、DFD (Depth-fused 3D) 表示装置に表現された3次元空間内の所望の点をポインティングする技術として、検出面上を入力ペンのペン先で指し示したときの指示位置の2次元座標と、入力ペンのペン先にかかる圧力である筆圧もしくは指示し続けた時間または入力ペンが備える操作手段の操作とに基づいて3次元空間内の所望の点をポインティングする手法や、入力ペンの筆圧もしくは指示し続けた時間または入力ペンが備える操作手段の操作に応じて、DFD表示装置に表現された3次元空間に表示させる3次元ポインタの奥行き方向の座標を変化させる手法が提案されている (例えば、特許文献1参照)。

20

【特許文献1】WO2006/041097号公報

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0003】

上述のように、3次元空間における3次元座標や3次元形状を取り扱うためには、2次元空間におけるX軸方向およびY軸方向に加えてZ軸方向 (奥行き方向) における絶対座標または相対座標を指定することが必要となる。しかしながら、2次元空間すなわち2次元ディスプレイ上で奥行き方向の位置を正確に指定することは容易ではない。また、3次元空間における3次元座標等の取り扱いに際して、DFD表示装置といった3次元ディスプレイや特殊な入力装置を用いるのは、コスト面で問題がある。

30

【0004】

そこで、本発明は、2次元空間上での2次元位置の指定により3次元空間における3次元位置を容易かつ精度よく指定可能とすることを目的の一つとする。また、本発明は、2次元空間上での2次元位置の指定により3次元形状を容易に表現可能とすることを目的の一つとする。

【課題を解決するための手段】

【0005】

40

本発明による3次元位置指定装置、3次元位置指定方法および3次元位置指定用プログラム、ならびにボクセルモデリング装置、ボクセルモデリング方法およびボクセルモデリング用プログラムは、上述の目的を達成するために以下の手段を採っている。

【0006】

本発明による3次元位置指定装置は、

3次元空間における3次元位置を指定するための3次元位置指定装置であって、

2次元空間上で2次元位置を指定するための2次元位置指定手段と、

8^N 個 (ただし“N”は値1以上の整数である。) の正方形領域の配列を有する第N段階のシェルピンスキー・カーペットの所定2次元位置指定手段を用いて指定された2次元位置に対応する正方形領域を所定の対応規則に従ってボクセル空間を構成する $2^N \times 2^N \times$

50

2^N 個のボクセルの何れか1個に対応付けすると共に、前記正方形領域に対応付けられた前記1個のボクセルの前記ボクセル空間における位置に基づいて前記3次元空間における3次元位置を取得する演算手段と、
を備えるものである。

【0007】

本発明者らは、3次元空間における3次元位置を容易かつ精度よく指定可能とするために鋭意研究を行い、その結果、フラクタルの一つであるシェルピンスキー・カーベットと、複数のボクセルの集合であるボクセル空間とに着目するに至った。シェルピンスキー・カーベットは、1つの正方形領域を9等分すると共に中央の正方形領域をブランク領域として8個の正方形領域の配列を発生させる処理（フラクタル展開）をブランク領域である正方形領域を除いた正方形領域について順次適用することにより得られる自己相似性をもったフラクタルである。すなわち、イニシエータである1個（ 8^0 個）の正方形領域に対して上記フラクタル展開（第1段階のフラクタル展開）が施されると1個のブランク領域と8個（ 8^1 個）の正方形領域の配列とが発生し、ブランク領域を除く8個の正方形領域それぞれに対して上記フラクタル展開（第2段階のフラクタル展開）が施されると64個（ 8^2 個）の正方形領域の配列（および新たな 8^1 個のブランク領域）が発生し、更に、ブランク領域を除く64個の正方形領域それぞれに対して上記フラクタル展開（第3段階のフラクタル展開）が施されると512個（ 8^3 個）の正方形領域の配列（および新たな 8^2 個のブランク領域）が発生することになる。つまり、1つの正方形領域を9等分すると共に中央の正方形領域をブランク領域として8個の正方形領域の配列を発生させるフラクタル展開がN回実行されると、自己相似性をもった 8^N 個の正方形領域の配列と 8^{N-1} 個（ $1 \leq n \leq N$ ）のブランク領域とを有するシェルピンスキー・カーベットが得られることになる。本明細書では、このように 8^N 個の正方形領域の配列と 8^{N-1} 個（ $1 \leq n \leq N$ ）のブランク領域とを有するシェルピンスキー・カーベットを「第N段階のシェルピンスキー・カーベット」という。また、イニシエータである1個（ 8^0 個）の正方形領域を「第0段階のシェルピンスキー・カーベット」という。一方、ボクセル空間について考察すると、理論上の最小単位である1個（ $2^0 \times 2^0 \times 2^0 = 8^0$ 個）のボクセルを3次元に分割すればボクセルの総数は $2^1 \times 2^1 \times 2^1 = 8^1$ 個となり、これら8個のボクセルのそれぞれを3次元に分割すればボクセルの総数は $2^2 \times 2^2 \times 2^2 = 8^2$ 個となり、更に、これら64個のボクセルのそれぞれを3次元に分割すればボクセルの総数は $2^3 \times 2^3 \times 2^3 = 8^3$ 個となる。つまり、ボクセルの3次元における分割（高解像度化）をN回実行すれば、ボリュームデータにおけるボクセルの総数は $2^N \times 2^N \times 2^N$ 個 $= 8^N$ 個となり、これは、第N段階のシェルピンスキー・カーベットにおける正方形領域の総数と一致する。

【0008】

このように、本発明者らは、上記シェルピンスキー・カーベットの特性と、複数のボクセルからなるボクセル空間の特性との共通性を見出し、その共通性を利用して3次元空間における3次元位置を指定することとしている。すなわち、本発明による3次元位置指定装置は、 8^N 個の正方形領域の配列を有する第N段階のシェルピンスキー・カーベットの2次元空間上で指定された2次元位置に対応する正方形領域を所定の対応規則に従ってボクセル空間を構成する $2^N \times 2^N \times 2^N$ 個のボクセルの何れか1個に対応付けすると共に、正方形領域に対応付けられた1個のボクセルのボクセル空間における位置に基づいて3次元空間における3次元位置を取得するのである。これにより、2次元空間（例えば2次元座標系）において2次元位置（例えば2次元座標）を指定すれば、奥行きを指定しなくても、単純な配置計算により2次元空間において指定された2次元位置に対応する1個のボクセルのボクセル空間における位置が取得され、当該1個のボクセルのボクセル空間における位置から3次元空間（例えば3次元座標系）における3次元位置（例えば3次元座標）が取得されることになる。従って、本発明による3次元位置指定装置によれば、2次元空間上での2次元位置の指定により、演算負荷を軽減しながら3次元空間における3次元位置を容易かつ精度よく指定することが可能となる。なお、「ボクセル」は、基本的には、いわゆるボクセル値をもたない単なる立方体等であればよい。ただし、ボクセルにボク

10

20

30

40

50

セル値が付与されてもよく、この場合には、2次元空間において2次元位置を指定することにより、当該2次元位置に対応した3次元位置にあるボクセル値にアクセスすることが可能となる。また、第N段階のシェルピンスキー・カーペットは、2次元空間に直接対応付けられてもよく、所定の変換を介して間接的に対応付けられてもよい。

【0009】

また、前記対応規則は、第1段階のシェルピンスキー・カーペットを構成する8個の正方形領域と1つのボリュームを構成する $2 \times 2 \times 2$ 個のボクセルとの対応関係を規定するものであってもよく、前記演算手段は、第n段階（ただし、“n”は1 ≤ n ≤ Nを満たす整数である。）のシェルピンスキー・カーペットの前記指定された2次元位置に対応する正方形領域の第n-1段階のシェルピンスキー・カーペットの前記指定された2次元位置に対応する正方形領域における位置と前記対応規則とに基づいて $2^n \times 2^n \times 2^n$ 個のボクセルからなるボクセル空間内で前記指定された2次元位置に対応するボクセルの $2^{n-1} \times 2^{n-1} \times 2^{n-1}$ 個のボクセルからなるボクセル空間内で前記指定された2次元位置に対応するボクセルにおける位置を取得し、取得したn個のボクセルの位置に基づいて前記3次元空間における3次元位置を取得するものであってもよい。このように、第1段階のシェルピンスキー・カーペットを構成する8個の正方形領域と1つのボリュームを構成する $2 \times 2 \times 2$ 個のボクセルとの対応関係を予め定めておけば、フラクタルであるシェルピンスキー・カーペットの自己相似性を利用した繰り返し計算を実行することで、より少ない演算負荷で高速に3次元空間における3次元位置を指定することが可能となる。

【0010】

更に、前記対応規則は、前記第1段階のシェルピンスキー・カーペットの8個の正方形領域をこれらに対して定められた一筆書きの経路上での順番に従って $2 \times 2 \times 2$ 個のボクセルに対して一筆書きの経路を辿るように割り当てる規則であってよい。これにより、第N段階のシェルピンスキー・カーペットにおける少なくとも2つの正方形領域の隣接関係をボクセル空間（3次元空間）において保持することが可能となり、2次元空間での2次元位置の近接関係を3次元空間においても比較的良好に保つことができる。

【0011】

また、前記演算手段は、前記3次元空間に複数の3次元位置が指定されているときに、前記複数の3次元位置を通る直線または折れ線を設定可能なものであってもよい。更に、前記演算手段は、前記3次元空間に3箇所以上の3次元位置が指定されているときに、前記3箇所以上の3次元位置から定まる曲線を設定可能なものであってもよい。また、前記演算手段は、前記3次元空間に3箇所以上の3次元位置が指定されているときに、前記3箇所以上の3次元位置から定まる平面を設定可能なものであってもよい。更に、前記演算手段は、前記3次元空間に4箇所以上の3次元位置が指定されているときに、前記4箇所以上の3次元位置から定まる曲面を設定可能なものであってもよい。また、前記演算手段は、前記3次元空間に2箇所の3次元位置が指定されているときに、前記2箇所の3次元位置に基づく円または球を設定可能なものであってもよい。これにより、本発明による3次元位置指定装置を用いて様々な3次元形状を描画したり、デザインしたりすることが可能となる。

【0012】

そして、前記3次元位置指定装置は、表示画面上に画像を表示可能な表示手段と、前記表示画面上に前記第N段階のシェルピンスキー・カーペットに基づく画像を表示させると共に、前記演算手段により取得された3次元位置を示す3次元座標を前記表示画面上にプロット表示させる表示制御手段とを備えてもよい。これにより、表示画面上の3次元座標を示す点等を参照しながら、2次元位置すなわち第N段階のシェルピンスキー・カーペットの正方形領域を指定することができるので、3次元空間における所望の3次元位置を容易に指定することが可能となる。

【0013】

また、前記表示制御手段は、前記演算手段により取得された3次元位置を示す3次元座標を前記表示画面上にプロット表示させると共に、前記3次元位置の周囲に所定サイズの

ボクセルに基づく画像を表示させるものであってもよい。これにより、2次元位置指定手段を用いて指定した2次元位置に対応する3次元位置が3次元空間内のどの辺りにあるかを容易に把握可能となる。

【0014】

本発明による3次元位置指定方法は、

3次元空間における3次元位置を指定するための3次元位置指定方法であって、

(a) 2次元空間上で指定された2次元位置を特定するステップと、

(b) 8^N 個(ただし“N”は値1以上の整数である。)の正方形領域の配列を有する第N段階のシェルピンスキー・カーペットのステップ(a)にて特定された2次元位置に対応する正方形領域を所定の対応規則に従ってボクセル空間を構成する $2^N \times 2^N \times 2^N$ 個のボクセルの何れか1個に対応付けすると共に、前記正方形領域に対応付けられた前記1個のボクセルの前記ボクセル空間における位置に基づいて前記3次元空間における3次元位置を取得するステップと、

を含むものである。

【0015】

この方法では、2次元空間において2次元位置が指定されると、奥行きが指定されなくても、単純な配置計算により2次元空間において指定された2次元位置に対応する1個のボクセルのボクセル空間における位置が取得され、当該1個のボクセルのボクセル空間における位置から3次元空間における3次元位置が取得される。従って、この方法によれば、2次元空間上での2次元位置の指定により、演算負荷を軽減しながら3次元空間における3次元位置を容易かつ精度よく指定することが可能となる。

【0016】

本発明による3次元位置指定用プログラムは、

コンピュータを3次元空間における3次元位置を指定するための装置として機能させる3次元位置指定用プログラムであって、

2次元空間上で指定された2次元位置を特定する2次元位置特定モジュールと、

8^N 個(ただし“N”は値1以上の整数である。)の正方形領域の配列を有する第N段階のシェルピンスキー・カーペットのの前記特定された2次元位置に対応する正方形領域を所定の対応規則に従ってボクセル空間を構成する $2^N \times 2^N \times 2^N$ 個のボクセルの何れか1個に対応付けすると共に、前記正方形領域に対応付けられた前記1個のボクセルの前記ボクセル空間における位置に基づいて前記3次元空間における3次元位置を取得する演算モジュールと、

を備えるものである。

【0017】

このプログラムがインストールされたコンピュータでは、2次元空間において2次元位置(例えばx y座標)を指定すれば、奥行きを指定しなくても、単純な配置計算により2次元空間において指定された2次元位置に対応する1個のボクセルのボクセル空間における位置が取得され、当該1個のボクセルのボクセル空間における位置から3次元空間における3次元位置が取得される。従って、このプログラムによれば、2次元空間上での2次元位置の指定により、演算負荷を軽減しながら3次元空間における3次元位置を容易かつ精度よく指定することが可能となる。

【0018】

本発明によるボクセルモデリング装置は、

3次元形状をボクセルの集合として表現可能なボクセルモデリング装置であって、

2次元空間上で2次元位置を指定するための2次元位置指定手段と、

8^N 個(ただし“N”は値1以上の整数である。)の正方形領域の配列を有する第N段階のシェルピンスキー・カーペットのの前記2次元位置指定手段を用いて指定された2次元位置に対応する正方形領域を所定の対応規則に従ってボクセル空間を構成する $2^N \times 2^N \times 2^N$ 個のボクセルの何れか1個に対応付けすると共に、前記正方形領域に対応付けられた前記1個のボクセルの前記ボクセル空間における位置を取得する位置取得手段と、

前記位置取得手段により取得された位置のボクセルに基づいて３次元形状を設定する形状設定手段と、

を備えるものである。

【００１９】

このボクセルモデリング装置では、２次元空間において２次元位置を指定すると、単純な配置計算により２次元空間において指定された２次元位置に対応する１個のボクセルのボクセル空間における位置が取得されると共に、取得された位置のボクセルをボクセル空間から消去したり、取得された位置のボクセルを３次元空間に配列したりすることにより３次元形状が設定される。従って、このボクセルモデリング装置によれば、２次元空間上での２次元位置の指定により３次元形状を容易に表現することが可能となる。

10

【００２０】

本発明によるボクセルモデリング方法は、

３次元形状をボクセルの集合として表現するためのボクセルモデリング方法であって、

(a) ２次元空間上で指定された２次元位置を特定するステップと、

(b) 8^N 個（ただし“ N ”は値１以上の整数である。）の正方形領域の配列を有する第 N 段階のシェルピンスキー・カーペットのステップ(a)にて特定された２次元位置に対応する正方形領域を所定の対応規則に従ってボクセル空間を構成する $2^N \times 2^N \times 2^N$ 個のボクセルの何れか１個に対応付けすると共に、前記正方形領域に対応付けられた前記１個のボクセルの前記ボクセル空間における位置を取得するステップと、

(c) ステップ(b)にて取得された位置のボクセルに基づいて３次元形状を設定するステップと、

20

を含むものである。

【００２１】

この方法では、２次元空間において２次元位置が指定されると、単純な配置計算により２次元空間において指定された２次元位置に対応する１個のボクセルのボクセル空間における位置が取得されると共に、取得された位置のボクセルをボクセル空間から消去したり、取得された位置のボクセルを３次元空間に配列したりすることにより３次元形状が設定される。従って、この方法によれば、２次元空間上での２次元位置の指定により３次元形状を容易に表現することが可能となる。

【００２２】

30

本発明によるボクセルモデリング用プログラムは、

３次元形状をボクセルの集合として表現するための装置としてコンピュータを機能させるボクセルモデリング用プログラムであって、

２次元空間上で指定された２次元位置を特定する２次元位置特定モジュールと、

8^N 個（ただし“ N ”は値１以上の整数である。）の正方形領域の配列を有する第 N 段階のシェルピンスキー・カーペットのステップ(a)にて指定された２次元位置に対応する正方形領域を所定の対応規則に従ってボクセル空間を構成する $2^N \times 2^N \times 2^N$ 個のボクセルの何れか１個に対応付けすると共に、前記正方形領域に対応付けられた前記１個のボクセルの前記ボクセル空間における位置を取得する位置取得モジュールと、

前記位置取得モジュールにより取得された位置のボクセルに基づいて３次元形状を設定する形状設定モジュールと、

40

を備えるものである。

【００２３】

このプログラムがインストールされたコンピュータでは、２次元空間において２次元位置が指定すると、単純な配置計算により２次元空間において指定された２次元位置に対応する１個のボクセルのボクセル空間における位置が取得されると共に、取得された位置のボクセルをボクセル空間から消去したり、取得された位置のボクセルを３次元空間に配列したりすることにより３次元形状が設定される。従って、このプログラムによれば、２次元空間上での２次元位置の指定により３次元形状を容易に表現することが可能となる。

【発明を実施するための最良の形態】

50

【 0 0 2 4 】

次に、実施例を参照しながら本発明を実施するための最良の形態について説明する。

【実施例】

【 0 0 2 5 】

図 1 は、本発明の実施例に係る 3 次元位置指定装置としてのコンピュータ 2 0 の概略構成図である。同図に示すように、実施例のコンピュータ 2 0 は、図示しない CPU、ROM、RAM、グラフィックプロセッサ (GPU)、グラフィックメモリ (VRAM)、システムバス、各種インターフェース、ハードディスクドライブやフラッシュメモリドライブ (SSD) といった外部記憶装置等を含む汎用のコンピュータとして構成されており、一般的な 2 次元ディスプレイである液晶ディスプレイといった表示装置 3 0 や入力装置としてのキーボード 4 0 やマウス 5 0 等と接続されて使用される。そして、このコンピュータ 2 0 には、表示装置 3 0 の表示画面 3 1 に現された 2 次元空間 (2 次元座標系) における 2 次元位置 (2 次元座標) を指定して 3 次元空間 (3 次元座標系) における 3 次元位置 (3 次元座標) を指定可能とする 3 次元位置指定用プログラムがインストールされている。なお、以下の説明において、適宜「2 次元」を「2 D」といい、「3 次元」を「3 D」という。

10

【 0 0 2 6 】

コンピュータ 2 0 において 3 次元位置指定用プログラムが起動されると、表示装置 3 0 の表示画面 3 1 には、図 1 および図 2 に示すようにウィンドウ 9 0 が表示される。ウィンドウ 9 0 は、2 D 座標指定領域 9 2 と 3 D 画像表示領域 9 3 とを含む。2 次元空間としての 2 D 座標指定領域 9 2 には、1 つの正方形領域を 9 等分すると共に中央の正方形領域をブランク領域として 8 個の正方形領域の配列を生成するフラクタル展開を N 回 (ただし、“N” は、値 1 以上の整数であり、実施例では例えば N = 5 である。) 適用することにより得られるフラクタルである第 N 段階のシェルピンスキー・カーペット 1 0 0 が表示される。また、3 D 画像表示領域 9 3 には、3 次元空間を示す立方体状の 3 次元フレーム X Y Z が表示される。

20

【 0 0 2 7 】

コンピュータ 2 0 のユーザがマウス 5 0 あるいはキーボード 4 0 を用いて 2 D 座標指定領域 9 2 に表示されたシェルピンスキー・カーペット 1 0 0 上の正方形領域 (図中、黒く塗りつぶされていない領域) にカーソルを置くと、3 D 画像表示領域 9 3 の 3 次元フレーム X Y Z 内にカーソル位置に対応した 3 次元座標を示す点 P が表示されると共に、当該 3 次元座標を示す点 P の周囲に立方体状のフレーム F が表示される。また、ユーザがシェルピンスキー・カーペット 1 0 0 上でカーソルを移動させると、点 P とフレーム F とが 3 次元フレーム X Y Z 内でカーソルの位置に応じて移動するように表示される。そして、シェルピンスキー・カーペット 1 0 0 上の正方形領域にカーソルを置いた状態でユーザが例えばマウス 5 0 のクリックといった 2 D 位置の確定処理を行うと、シェルピンスキー・カーペット 1 0 0 上のカーソル位置に対応した箇所 (図 2 において矢印で示す箇所参照) に点がプロット表示されると共に、3 次元フレーム X Y Z 内にカーソル位置に対応した 3 次元座標を示す点 (以下、「確定点」という。) P c が固定表示され、フレーム F が消去される。なお、3 次元フレーム X Y Z や確定点 P c 等は、ユーザの操作により 3 D 画像表示領域 9 3 内で移動可能とされる。

30

40

【 0 0 2 8 】

また、ウィンドウ 9 0 には、“LINE”、“CURVE”、“PLANE”、“CURVED SURFACE”、“CIRCLE”、“SPHERE”、“delete”、“copy”、“tool”、“save”といったボタン 9 5 が配置されている。“LINE”ボタンは、3 次元フレーム X Y Z 内に存在する複数の確定点 P c を通る直線あるいは折れ線の設定を指示するためのものである。“CURVE”ボタンは、3 次元フレーム X Y Z 内に存在する 3 点以上の確定点 P c から定まる曲線の設定を指示するためのものである。“PLANE”ボタンは、3 次元フレーム X Y Z 内に存在する 3 点以上の確定点 P c から定まる平面の設定を指示するためのものである。“CURVED SURFACE”ボタンは、3 次元フレーム X Y Z 内に存在する 4 点以上の確定点 P c から定まる曲面の

50

設定を指示するためのものである。“CIRCLE”ボタンは、3次元フレームXYZ内に存在する2点の確定点Pcの一方を中心とすると共に他方を円周上の1点とする円(平面)の設定を指示するためのものである。“SPHERE”ボタンは、3次元フレームXYZ内に存在する2点の確定点Pcの一方を中心とすると共に他方を球面上の1点とする球面を設定を指示するためのものである。“delete”ボタンは、3次元フレームXYZ内に存在する確定点Pcや線、面等の消去を指示するためのものである。“copy”ボタンは、3次元フレームXYZ内に存在する線や面等といった図形のコピーを指示するためのものである。“tool”ボタンは、予め用意されたオプション(例えば後述するベクトル場の設定等)の実行を指示可能とするものである。“save”ボタンは、3次元フレームXYZ内に表示された3次元形状の保存を指示するためのものである。

10

【0029】

そして、3次元位置指定用プログラムが起動されている際、コンピュータ20には、図1に示すように、CPUやROM、RAM、GPU、各種インターフェース、外部記憶装置といったハードウェアと、インストールされた3次元位置指定用プログラムとの一方または双方の協働により入力受付部21や情報記憶部(RAMおよび外部記憶装置)22、モデリング部23、表示制御部24等が機能ブロックとして構築される。入力受付部21は、ユーザにより指定された2D位置すなわち2D座標指定領域92におけるカーソル位置(表示画面31に設定された2次元絶対座標系におけるピクセル単位のxy座標)といったマウス50やキーボード40からの情報の入力を受け付け、受け付けた情報を情報記憶部(RAM)22に格納する。モデリング部23は、ユーザにより指定された2D座標指定領域92におけるカーソル位置に基づいて当該カーソル位置に対応した3次元フレームXYZにおける3D座標を算出したり、上述のウィンドウ90上のボタン95の操作に応じて線や面等を設定したりする。表示制御部24は、2D座標指定領域92や3D画像表示領域93におけるユーザの操作に応じた画像表示処理(レンダリングを含む)を実行する。

20

【0030】

次に、3次元位置指定用プログラムがインストールされたコンピュータ20を用いて3次元空間としての3次元フレームXYZ内に点Pを表示させたり、確定点Pcを設定したりする手順について説明する。図3は、実施例のコンピュータ20において実行される3D座標設定ルーチンの一例を示すフローチャートである。この3D座標設定ルーチンは、3次元位置指定用プログラムが起動され、例えば2D座標指定領域92に表示されたシェルピンスキー・カーペット100上の正方形領域にカーソルが置かれると、コンピュータ20のモデリング部23により繰り返し実行される。

30

【0031】

図3の3D座標設定ルーチンの開始に際して、モデリング部23は、ユーザにより指定された2D座標指定領域92におけるカーソル位置(表示画面31におけるピクセル単位のxy座標)を座標変換することにより2D座標指定領域92に設定されている2次元絶対座標系における2D座標(x, y)を取得する(ステップS100)。ステップS100の処理の後、モデリング部23は、所定の座標(x(n), y(n))、座標(x(n), y(n))および座標(X(n), Y(n), Z(n))をそれぞれ次式(1)~(3)に従って初期化する(ステップS110)。ただし、“n”は制御用の変数である。そして、モデリング部23は、予め定められた対応規則に基づくテーブルを用いて2D座標(x, y)を3次元フレームXYZにおける3D座標(X, Y, Z)に変換する座標変換処理を実行する(ステップS120)。

40

【0032】

$$(x(0), y(0)) = (x, y) \quad \dots (1)$$

$$(x(0), y(0)) = (0, 0) \quad \dots (2)$$

$$(X(0), Y(0), Z(0)) = (0, 0, 0) \quad \dots (3)$$

【0033】

ステップS120の座標変換処理に用いられる対応規則は、第1段階のシェルピンスキ

50

ー・カーペットを構成する8個の正方形領域と1つのボリュームを構成する $2 \times 2 \times 2 = 8$ 個のボクセルとの対応関係を規定するものである。すなわち、実施例では、図4に示すように、第1段階のシェルピンスキー・カーペットを構成する8個の正方形領域に対して、所定の基点（例えば、図中左下の頂点）からX方向 Y方向 - X方向 - Y方向に進行する2次元の一筆書きの経路（周回経路）が予め定められると共に、 $2 \times 2 \times 2$ 個のボクセルに対して、所定の基点（例えば、図中左手前下側の頂点）からx方向 z方向 - x方向 y方向 x方向 - z方向 - x方向 - y方向に進行する3次元の一筆書き経路が予め定められており、対応規則は、第1段階のシェルピンスキー・カーペットの8個の正方形領域を当該2次元の一筆書きの経路上での順番に従って $2 \times 2 \times 2$ 個のボクセルに対して当該3次元の一筆書きの経路を辿るように割り当てるとされている。そして、実施例では、かかる対応規則を座標変換処理に適用すべく、図5に示すテーブルが用意されている。このテーブルでは、第1段階のシェルピンスキー・カーペットを構成する8個の正方形領域の2D位置として各正方形領域の図5における左下側の頂点（以下、正方形領域の「原点」という。）に $(0, 0)$ 、 $(1, 0)$ 、 $(2, 0)$ 、 $(2, 1)$ 、 $(2, 2)$ 、 $(1, 2)$ 、 $(0, 2)$ 、 $(0, 1)$ という2次元の相対座標が付与されると共に、 $2 \times 2 \times 2 = 8$ 個のボクセルの3D位置として各ボクセルの図5における左手前下側の頂点（以下、ボクセルの「原点」という）に $(0, 0, 0)$ 、 $(1, 0, 0)$ 、 $(1, 0, 1)$ 、 $(0, 0, 1)$ 、 $(0, 1, 1)$ 、 $(1, 1, 1)$ 、 $(1, 1, 0)$ 、 $(0, 1, 0)$ という3次元の相対座標が付与されており、シェルピンスキー・カーペットの正方形領域の2D位置（相対座標）と8個のボクセルの3D位置（相対座標）とが図5に示すように対応付けられている。

【0034】

図5に示すテーブルを用いることにより、図6および図7に示すようにして2D座標 (x, y) に対応した第N段階のシェルピンスキー・カーペットの正方形領域をボクセル空間を構成する $2^N \times 2^N \times 2^N$ 個のボクセルの何れか1個に対応付けすることができる。なお、以下の説明において、値Nを適宜シェルピンスキー・カーペットやボクセル空間の「解像度」という。また、図6および図7は、2D座標指定領域92に表示されたシェルピンスキー・カーペット100の解像度Nが値3である場合を例示するものであり、カーソルは図6に示す位置にあるものとする。この場合、2D座標指定領域92に第1段階のシェルピンスキー・カーペットが表示されていると仮定すれば、図6からわかるように、2D座標 (x, y) は図4に示す対応規則より第1段階のシェルピンスキー・カーペットにおける6番目の正方形領域に含まれていることになる。従って、当該6番目の正方形領域の原点 O_1 のイニシエータである1個 $(8^0$ 個)の正方形領域（第0段階のシェルピンスキー・カーペット）における相対座標（原点 O_0 を $(0, 0)$ とする）を求めれば、図5のテーブルを用いて、 $2^1 \times 2^1 \times 2^1$ 個 $= 8$ 個のボクセルからなるボクセル空間（解像度 $N = 1$ のボクセル空間）内で2D座標 (x, y) に対応するボクセルの $2^0 \times 2^0 \times 2^0 = 1$ 個のボクセルからなるボクセル空間内で2D座標 (x, y) に対応するボクセルにおける相対座標を得ることができる（図7（a）参照）。

【0035】

更に、2D座標指定領域92に第2段階のシェルピンスキー・カーペットが表示されていると仮定すれば、図6からわかるように、2D座標 (x, y) は図4に示す対応規則より上記第1段階のシェルピンスキー・カーペットにおける上記6番目の正方形領域を構成する8個の正方形領域のうち、7番目の正方形領域に含まれることになる。従って、当該7番目の正方形領域の原点 O_2 のイニシエータである上記第1段階のシェルピンスキー・カーペットの6番目の正方形領域における相対座標（原点 O_1 を $(0, 0)$ とする）を求めれば、図5のテーブルを用いて、 $2^2 \times 2^2 \times 2^2$ 個 $= 64$ 個のボクセルからなるボクセル空間（解像度 $N = 2$ のボクセル空間）内で2D座標 (x, y) に対応する解像度 $N = 1$ のボクセル空間内で2D座標 (x, y) に対応するボクセルにおける相対座標を得ることができる（図7（b）参照）。

【0036】

10

20

30

40

50

以下、同様にして、第 n 段階のシェルピンスキー・カーペットの 2 D 座標 (x, y) に対応した正方形領域の第 $n - 1$ 段階のシェルピンスキー・カーペットの 2 D 座標 (x, y) に対応した正方形領域における相対座標 (位置) を求めれば、この正方形領域の相対座標を図 5 のテーブルを用いて解像度 $N = n$ のボクセル空間内で 2 D 座標 (x, y) に対応するボクセルの解像度 $N = n - 1$ のボクセル空間内で 2 D 座標 (x, y) に対応するボクセルにおける相対座標へと変換することができる (図 7 (c) 参照)。そして、3 次元空間としての 3 次元フレーム XYZ に解像度 N のボクセル空間が対応付けられており、3 次元フレーム XYZ が $2^N \times 2^N \times 2^N$ 個のボクセルに分割されているとすれば、上述の各段階におけるボクセルの相対座標を加算することにより、2 D 座標 (x, y) に対応した 3 次元フレーム XYZ における 3 D 座標 (X, Y, Z) を得ることができる。

10

【0037】

図 8 は、上述の手順により 2 D 座標 (x, y) を 3 次元フレーム XYZ における 3 D 座標 (X, Y, Z) に変換するステップ S 1 2 0 における座標変換処理の一例を示すフローチャートである。図 8 に示すように、座標変換処理の開始に際して、モデリング部 2 3 は、変数 n を値 1 に設定した上で (ステップ S 1 2 0 0)、座標 $(x(n), y(n))$ を次式 (4) および (5) に従って設定する (ステップ S 1 2 1 0)。ただし、式 (4) および (5) において “ s ” は、2 D 座標指定領域 9 2 に表示されたシェルピンスキー・カーペット 1 0 0 の一辺の長さ (画素数) を示す (図 2 参照)。次いで、設定した座標 $(x(n), y(n))$ を用いて次式 (6) および (7) から値 $x(n)$ および $y(n)$ を計算し (ステップ S 1 2 2 0)、値 $x(n)$ および $y(n)$ の小数点以下をそれぞれ切り捨てることにより座標 $(x(n), y(n))$ を設定する (ステップ S 1 2 3 0)。ここで、座標 $(x(n), y(n))$ は、第 n 段階のシェルピンスキー・カーペットの 2 D 座標 (x, y) に対応した正方形領域の原点 O_n に対する 2 D 座標 (x, y) に対応した点の絶対座標である。また、ステップ S 1 2 1 0 および S 1 2 2 0 の処理を経て得られる座標 $(x(n), y(n))$ は、第 n 段階のシェルピンスキー・カーペットの 2 D 座標 (x, y) に対応した正方形領域の原点 O_n の第 $n - 1$ 段階のシェルピンスキー・カーペットの 2 D 座標 (x, y) に対応した正方形領域における相対座標を示す。

20

【0038】

$$x(n) = x(n-1) - 3^{n-1}/s \cdot x(n-1) \quad \dots (4)$$

$$y(n) = y(n-1) - 3^{n-1}/s \cdot y(n-1) \quad \dots (5)$$

$$x(n) = 3^n/s \cdot x(n) \quad \dots (6)$$

$$y(n) = 3^n/s \cdot y(n) \quad \dots (7)$$

30

【0039】

ステップ S 1 2 3 0 の処理により、座標 $(x(n), y(n))$ が図 5 のテーブルにおける 2 次元の相対座標の何れかとして得られるので、当該テーブルを用いて座標 $(x(n), y(n))$ に対応する 3 次元の相対座標 $(X(n), Y(n), Z(n))$ すなわち解像度 n のボクセル空間内で 2 D 座標 (x, y) に対応するボクセルの解像度 $n - 1$ のボクセル空間内で 2 D 座標 (x, y) に対応するボクセルにおける相対座標を導出することができる (ステップ S 1 2 4 0)。こうして座標 $(X(n), Y(n), Z(n))$ を求めたならば、次式 (8) ~ (10) に従って $2^n \times 2^n \times 2^n$ 個のボクセルからなるボクセル空間内で 2 D 座標 (x, y) に対応するボクセルの原点の座標 (X, Y, Z) を導出する (ステップ S 1 2 5 0)。ステップ S 1 2 5 0 の処理の後、変数 n が値 N (シェルピンスキー・カーペット 1 0 0 の解像度) に一致したか否かを判定し (ステップ S 1 2 6 0)、変数 n が値 N 未満であれば、当該変数 n をインクリメントして (ステップ S 1 2 7 0)、再度ステップ S 1 2 1 0 ~ S 1 2 5 0 の処理を実行する。そして、ステップ S 1 2 6 0 にて変数 n が値 N に一致した段階で、座標 (X, Y, Z) に基づいて 2 D 座標 (x, y) に対応した 3 D 座標 (X, Y, Z) を設定すると共に情報記憶部 2 2 (RAM) に格納する (ステップ S 1 2 8 0)。実施例のステップ S 1 2 8 0 では、座標 (X, Y, Z) から次式 (11) ~ (13) に従って得られる $2^N \times 2^N \times 2^N$ 個のボクセルからなるボクセル空間内で 2 D 座標 (x, y) に対応するボクセル

40

50

ルの中心の座標を3D座標(X, Y, Z)として設定する。ただし、式(11)~(13)において、“S”は、3D画像表示領域93に表示された3次元フレームXYZの一边の長さ(画素数)を示す(図2参照)。

【0040】

$$X = X + 2^{N-n} \cdot X(n) \quad \dots (8)$$

$$Y = Y + 2^{N-n} \cdot Y(n) \quad \dots (9)$$

$$Z = Z + 2^{N-n} \cdot Z(n) \quad \dots (10)$$

$$X = X + S/2^{N+1} \quad \dots (11)$$

$$Y = Y + S/2^{N+1} \quad \dots (12)$$

$$Z = Z + S/2^{N+1} \quad \dots (13)$$

10

【0041】

上述のようにして3D座標(X, Y, Z)を設定すると、モデリング部23は、3D座標(X, Y, Z)を中心とした所定サイズの立方体状のフレームF(8つの頂点および頂点同士を結ぶ12本の直線)を設定すると共に設定した情報を情報記憶部22(RAM)に格納し(ステップS130)、設定した3D座標(X, Y, Z)に対応する点PとフレームFの画像表示を表示制御部24に指示する(ステップS140)。実施例において、ステップS130にて設定されるフレームFのサイズは、3次元フレームXYZを $2^m \times 2^m \times 2^m$ 個(ただし、 $m < N$ であり、例えば $m = 2$)のボクセルに分割したときの1個のボクセルのサイズに一致する。また、モデリング部23からの画像表示指令を受け取った表示制御部24は、情報記憶部22から3D座標(X, Y, Z)やフレームF等に関する情報を読み出して、点PやフレームFが3次元フレームXYZや既存の確定点Pc等と共に3D画像表示領域93に投影表示されるように画像表示処理を実行する。ステップS140の処理の後、モデリング部23は、ユーザにより2D位置の確定処理が実行されたか否かを判定し(ステップS150)、2D位置の確定処理が実行されていない場合には、再度ステップS100以降の処理を実行する。

20

【0042】

また、ユーザにより2D位置の確定処理が実行されている場合、モデリング部23は、ステップS120(S1280)にて設定された3D座標(X, Y, Z)を新たな確定点Pcの座標として情報記憶部22(RAM)に格納した上で(ステップS160)、確定点Pc等の画像表示を表示制御部24に指示し(ステップS170)、再度ステップS100以降の処理を実行する。モデリング部23からの画像表示指令を受け取った表示制御部24は、情報記憶部22から確定点Pcの3D座標(X, Y, Z)等を読み出して、新たな確定点Pcが3次元フレームXYZや既存の確定点Pc等と共に3D画像表示領域93に投影表示されるように画像表示処理を実行する。なお、確定前の点Pと確定点Pcとは、識別性を考慮して色や形などを変えて3D画像表示領域93に表示されてもよい。

30

【0043】

続いて、図9を参照しながら、3次元位置指定用プログラムがインストールされたコンピュータ20を用いて3次元空間としての3次元フレームXYZ内に線や面等を設定する手順について説明する。図9は、実施例のコンピュータ20において実行される3D描画ルーチンの一例を示すフローチャートである。かかる3D描画ルーチンは、3次元位置指定用プログラムが起動された状態で、ウィンドウ90上の“LINE”、“CURVE”、“PLANE”、“CURVED SURFACE”、“CIRCLE”および“SPHERE”といったボタン95の何れかをクリックされると、コンピュータ20のモデリング部23により実行される。

40

【0044】

図9の3D描画ルーチンの開始に際して、モデリング部23は、ユーザによりクリックされたボタン95が“LINE”、“CURVE”、“PLANE”、“CURVED SURFACE”、“CIRCLE”および“SPHERE”の何れかであることを調べることにより、ユーザによりクリックされたボタン95に対応した描画対象を特定する(ステップS200)。次いで、情報記憶部22からすべての確定点Pcの3D座標(X, Y, Z)を読み出し(ステップS210)、ユーザにより指定された描画対象を描画可能であるか否かを判定する(ステップS220)

50

。ステップS 2 2 0では、基本的に、描画対象ごとに定められている確定点P cの最小数と既存の確定点P cの数とを比較することにより描画対象を描画可能であるか否かが判定される。そして、例えば確定点P cが2個しか存在していないにも拘わらず曲面の描画が指定されたような場合には、ステップS 2 2 0にて否定判断がなされ、モデリング部2 3は、例えば「3 D位置を指定してください。」といった“ERROR”メッセージを表示画面3 1上に現すように表示制御部2 4に指示する(ステップS 2 5 0)。

【0 0 4 5】

一方、ステップS 2 2 0にてユーザにより指定された描画対象を描画可能であると判断すると、モデリング部2 3は、確定点P cの3 D座標(X, Y, Z)に基づいてユーザにより指定された直線、折れ線、曲線、平面、曲面、円および球の何れかを設定し、設定した情報を情報記憶部2 2に格納する(ステップS 2 3 0)。そして、モデリング部2 3は、設定した線や面の画像表示を表示制御部2 4に指示し(ステップS 2 4 0)、本ルーチンを終了させる。モデリング部2 3からの画像表示指令を受け取った表示制御部2 4は、設定された線や面が3次元フレームXYZや既存の確定点P c等と共に3 D画像表示領域9 3に投影表示されるように画像表示処理を実行する。

【0 0 4 6】

なお、ステップS 2 4 0の処理に関して、確定点P cが2個存在するときに、2個の確定点P cをそれぞれ(X₀, Y₀, Z₀), (X₁, Y₁, Z₁)と表せば、これら2個の確定点P cを通る直線を次式(14)のように定義することができる。また、3個以上の確定点P cから定まる曲線としては、ベジエ曲線やNURBS曲線といったパラメトリック等を利用することができる。ここで、N個の確定点P cが存在しているときに、パラメータをtとし、曲線の次数をnとすれば、ベジエ曲線上の3 D座標P(t)を次式(15)のように定義することができる。また、N個の確定点P cが存在しているときに、f_{i,k}(t)をBスプライン基底関数とし、w_iを重みとし、曲線の次数をnとすれば、NURBS曲線上の3 D座標P(t)を次式(16)のように定義することができる。更に、確定点P cが3個存在するときに、3個の確定点P cの何れかを(X₀, Y₀, Z₀)とし、当該3個の確定点P cから定まる法線ベクトルを(a, b, c)とすれば、当該3個の確定点P cから定める平面を次式(17)のように定義することができる。また、4個以上の確定点P cから定まる曲面としては、次式(18)により定義されるベジエ曲面や次式(19)により定義されるNURBS曲面といったパラメトリック曲面等を利用することができる(ただし、式(18)および(19)において“u”、“v”はパラメータである)。

【数1】

$$\frac{X-X_0}{X_1-X_0} = \frac{Y-Y_0}{Y_1-Y_0} = \frac{Z-Z_0}{Z_1-Z_0} \quad \dots(14)$$

$$\left. \begin{aligned} P(t) &= \sum_{i=0}^{N-1} P c_i J_{ni}(t) \\ J_{ni} &= \binom{n}{i} t_i (1-t)^{n-1} \end{aligned} \right\} \quad \dots(15)$$

$$P(t) = \frac{\sum_{i=0}^{N-1} w_i f_{i,k}(t) P c_i}{\sum_{i=0}^{N-1} w_i f_{i,k}(t)} \quad \dots(16)$$

10

20

30

40

【数 2】

$$a \cdot (X - X_0) = b \cdot (Y - Y_0) = c \cdot (Z - Z_0) \quad \cdots (17)$$

$$P(u, v) = \sum_{i=0}^n \sum_{j=0}^n P c_{ij} J_{ni}(u) J_{nj}(v) \quad \cdots (18)$$

$$P(t) = \frac{\sum_{i=0}^{N-1} \sum_{j=0}^{N-1} w_{ij} f_{i,k}(u) f_{i,l}(v) P c_{ij}}{\sum_{i=0}^{N-1} \sum_{j=0}^{N-1} w_{ij} f_{i,k}(u) f_{i,l}(v)} \quad \cdots (19)$$

10

【0047】

以上説明したように、実施例の3次元位置指定用プログラムがインストールされたコンピュータ20は、表示画面31上に画像を表示可能な表示装置30と接続され、3次元位置指定用プログラムが起動されると、表示制御部24により表示画面31上の2次元空間としての2D座標指定領域92に第N段階のシェルピンスキー・カーペット100が表示させられる。こうして2D座標指定領域92に表示された第N段階のシェルピンスキー・カーペット100上で2D位置（ピクセル単位のx, y座標）すなわち何れかの正方形領域が指定されると、奥行きが指定されなくても、単純な配置計算によりシェルピンスキー・カーペット100上で指定された2D位置（2D座標（x, y））に対応する1個のボクセルの解像度Nのボクセル空間における位置が取得される。そして、当該1個のボクセルのボクセル空間における位置から3次元空間としての3次元フレームXYZにおける3次元位置である3D座標（X, Y, Z）が取得され、当該3次元座標（X, Y, Z）を示す点Pが表示画面31上の3D画像表示領域93にプロット表示される。

20

【0048】

このように、3次元位置指定用プログラムがインストールされたコンピュータ20を用いれば、2D座標指定領域92での2D位置の指定により、演算負荷を軽減しながら3次元フレームXYZにおける3D座標（3D位置）を容易かつ精度よく指定することが可能となる。また、コンピュータ20では、3D画像表示領域93にプロット表示された点Pを参照しながら、2D位置すなわち第N段階のシェルピンスキー・カーペット100の正方形領域を指定することができるので、3次元フレームXYZにおける所望の3D座標を容易に指定することが可能となる。更に、3D画像表示領域93には、2D位置の確定処理が実行されるまで、3D座標に対応した点Pの周囲に所定サイズのボクセルに基づく立方体状のフレームFが表示されることから、2D座標指定領域92において指定した2D位置に対応した3D座標（点P）が3次元フレームXYZ内のどの辺りにあるかを容易に把握可能となる。

30

【0049】

また、実施例のコンピュータ20に適用された対応規則は、第1段階のシェルピンスキー・カーペットを構成する8個の正方形領域と1つのボリュームを構成する2×2×2個のボクセルとの対応関係を規定するものである。これにより、第n段階（1 ≤ n ≤ N）のシェルピンスキー・カーペットの2D座標（x, y）に対応する正方形領域の第n-1段階のシェルピンスキー・カーペットの2D座標（x, y）に対応する正方形領域における相対座標（x（n）, y（n））と上記対応規則に基づく図5のテーブルとから、解像度N = nのボクセル空間内で2D座標（x, y）に対応するボクセルの解像度N = n-1のボクセル空間内で2D座標（x, y）に対応するボクセルにおける相対座標（X（n）, Y（n）, Z（n））を取得することができる。そして、取得したn個の相対座標（X（n）, Y（n）, Z（n））を用いれば、2D座標（x, y）に対応した3次元フレームXYZにおける3D座標（X, Y, Z）を取得することが可能となる。このように、第1段階のシェルピンスキー・カーペットを構成する8個の正方形領域と1つのボリュームを構成する2×2×2個のボクセルとの対応関係を予め定めておけば、フ

40

50

ラクタルであるシェルピンスキー・カーペットの自己相似性を利用した繰り返し計算を実行することで、より少ない演算負荷で高速に3次元フレームXYZにおける3D座標(X, Y, Z)を指定することが可能となる。

【0050】

ただし、シェルピンスキー・カーペットの自己相似性を利用すれば、必ずしもN=5といったような比較的解像度の高いシェルピンスキー・カーペット100を2D座標指定領域92に表示させる必要はない。すなわち、比較的小さな解像度(例えばN=1~3程度)のシェルピンスキー・カーペット100を2D座標指定領域92に表示させ、2D位置すなわち正方形領域が指定されるたびに、新たなシェルピンスキー・カーペット100を当該指定された正方形領域にフラクタル展開を施したものとして2D座標指定領域92に表示させることにより、ユーザに3次元フレームXYZにおける所望の3D座標(X, Y, Z)を段階的に指定させることが可能となる。また、テーブルとしては、第N段階のシェルピンスキー・カーペットの全正方形領域とボクセル空間を構成する $2^N \times 2^N \times 2^N$ 個のボクセルとを対応付けするものを予め用意しておいてもよい。

【0051】

更に、実施例のコンピュータ20に適用された対応規則は、第1段階のシェルピンスキー・カーペットの8個の正方形領域をこれらに対して定められた一筆書きの経路上での順番に従って $2 \times 2 \times 2$ 個のボクセルに対して一筆書きの経路を辿るように割り当てる規則である。これにより、第N段階のシェルピンスキー・カーペット100における少なくとも2つの正方形領域の隣接関係を $2^N \times 2^N \times 2^N$ 個のボクセルからなるボクセル空間(3次元フレームXYZ)において保持することが可能となるので、シェルピンスキー・カーペット100上における正方形領域の近接関係を3次元フレームXYZにおいても比較的良好に保つことができる。ただし、対応規則は、1つのボリュームを構成する $2 \times 2 \times 2$ 個のボクセルの3次元空間における位置と第1段階のシェルピンスキー・カーペットを構成する8個の正方形領域の2次元空間における位置との対応関係を規定するものであれば、どのような対応関係を規定するものであっても構わない。

【0052】

また、実施例のコンピュータ20に構築されるモデリング部23は、3次元フレームXYZ内に複数の3D座標が指定されているときに、“LINE”ボタンのクリックに応じて当該複数の3D座標を通る直線または折れ線を設定可能である。更に、モデリング部23は、3次元フレームXYZに3箇所以上の3D座標が指定されているときに、“CURVE”ボタンのクリックに応じて当該3箇所以上の3D座標から定まる曲線を設定可能である。また、モデリング部23は、3次元フレームXYZに3箇所以上の3D座標が指定されているときに、“PLANE”のクリックに応じて当該3箇所以上の3D座標から定まる平面を設定可能である。更に、モデリング部23は、3次元フレームXYZに4箇所以上の3D座標が指定されているときに、“CURVED SURFACE”ボタンのクリックに応じて当該4箇所以上の3D座標から定まる曲面を設定可能である。また、モデリング部23は、3次元フレームXYZに2箇所の3D座標が指定されているときに、“CIRCLE”ボタンまたは“SPHERE”ボタンのクリックに応じて当該2箇所の3D座標に基づく円または球を設定可能である。従って、実施例の3次元位置指定用プログラムがインストールされたコンピュータ20を用いれば、様々な3次元形状を描画したり、デザインしたりすることが可能となる。ただし、線や面の設定手順は、図9に示す手順に限られるものではなく、ユーザによりボタン95がクリックされた後、必要数の3D位置(シェルピンスキー・カーペット100の正方形領域)の指定がなされてから線や面の設定が実行されてもよい。

【0053】

なお、上記実施例において、表示装置30は、図示しないスタイラスにより指定された表示画面31上の絶対座標を検出可能なタブレットを含む、いわゆる液晶タブレット等として構成されてもよい。また、表示装置30として、いわゆるデュアルモニタを用いてもよく、2台の表示装置30の一方に2D座標指定領域92を表示させると共に他方に3D画像表示領域93を表示させてもよい。更に、上記実施例では、第N段階のシェルピンス

キー・カーペット100が2次元空間としての2D座標指定領域92に直接対応付けられているが、これに限られるものではない。すなわち、第N段階のシェルピンスキー・カーペット100は、2D座標指定領域92と3次元フレーム93との対応がより直感的にわかりやすいものとなるように更なる2D座標の変換処理を介して間接的に対応付けられてもよい。また、ユーザがシェルピンスキー・カーペット100のブランク領域にカーソルを置いたときに、当該ブランク領域が所属する正方形領域に対応したボクセルに基づくフレーム(画像)を3D画像表示領域93に表示させたり、当該ブランク領域が所属する正方形領域に関連した情報を2D座標指定領域92や3D画像表示領域93に表示させてもよい。

【0054】

引き続き、本発明による3次元位置指定装置および方法ならびに3次元位置指定用プログラムの応用例や、本発明によるボクセルモデリング装置、ボクセルモデリング方法およびボクセルモデリング用プログラムについて説明する。

【0055】

上記実施例における「ボクセル」は、基本的には、いわゆるボクセル値をもたない単なる立方体を意味しているが、3次元空間に対応付けられるボクセル空間の各ボクセルにはボクセル値が付与されてもよい。これにより、2次元空間において2次元位置を指定することにより、当該2次元位置に対応した3次元位置にあるボクセル値にアクセスすることが可能となる。このようにボクセルに対してボクセル値を付与する応用例としては、写真加工ソフトやペイントソフト等においてユーザーに任意の色の選択を許容するインターフェースであるカラーピッカーが挙げられる。すなわち、コンピュータ上で、色はR(赤)、G(緑)、B(青)の3成分によって表現され、例えば、 $(R, G, B) = (0, 0, 0)$ は黒、 $(R, G, B) = (255, 0, 0)$ は赤、 $(R, G, B) = (255, 255, 255)$ は白、といったように各色成分の強度は256階調のパラメータとして表されるのが一般的である。従って、コンピュータ上では、色空間をRGB3軸からなる3次元空間とみなすことができる。

【0056】

これを踏まえて、予め解像度 $N = 8$ (第8段階)のシェルピンスキー・カーペットの正方形領域とボクセル空間を構成する $2^8 \times 2^8 \times 2^8$ 個のボクセル(それぞれRGBの色情報を格納しているもの)とを対応付けたり、あるいは上述のような対応規則を用いたりすれば、解像度 $N = 8$ のシェルピンスキー・カーペットの何れかの正方形領域を指定することにより、3次元空間としての色空間においてRGBの色情報を指定(取得)することが可能となる。なお、色成分を256階調の代わりに浮動小数を用いて表現するHDR(High Dynamic Range)フォーマットについても、本発明を用いてRGBフォーマットの場合と同様のカラーピッカーを構成することができる。更に、輝度信号(Y)、輝度信号と青色成分の差(U)および輝度信号と赤色成分の差(V)という3つの情報で色を表すYUVフォーマットや、輝度(明るさ:Y)および色相(色合い:CrCb)という情報で色を表すYCrCbフォーマットについても、本発明を用いてRGBフォーマットの場合と同様のカラーピッカーを構成することができる。

【0057】

また、例えば、いわゆるネットショッピングの商品指定画面等に商品情報等を3次元的に配列することが考えられる。このような場合に、予め所定解像度のシェルピンスキー・カーペットの正方形領域とボクセル空間を構成するボクセル(商品情報を格納しているもの)とを対応付けたり、あるいは上述のような対応規則を用いたりすれば、シェルピンスキー・カーペットの何れかの正方形領域を指定することにより、3次元的に配列された商品情報に(隠れて見えなくなっているものにも)容易にアクセスすることが可能となる。同様に、例えば立体倉庫や立体駐車場の管理ソフト等において、管理画面等に在庫情報や入庫状況を3次元的に配列することが考えられる。このような場合にも、予め所定解像度のシェルピンスキー・カーペットの正方形領域とボクセル空間を構成するボクセル(在庫情報や入庫情報を格納しているもの)とを対応付けたり、あるいは上述のような対応規則を

10

20

30

40

50

用いたりすれば、シェルピンスキー・カーペットの何れかの正方形領域を指定することにより、3次元的に配列された情報に（隠れて見えなくなっているものにも）容易にアクセスすることが可能となる。

【0058】

更に、上述のような3D座標の設定機能と直線や曲線の設定機能とを利用すれば、オブジェクト移動アニメーション用の軌跡をデザインすることも可能となり、例えば、3Dのキャラクターがパス（道）に沿って進行するアニメーション等を作成する際に有効なものとなるであろう。また、上述の3D座標の設定機能と曲線の設定機能とを利用して3次元空間（3次元座標系）に設定された曲線に沿ったベクトル場を計算すると共にパーティクルシステムを用いることで、流れ場のデザインと可視化とを実行することができる。

10

【0059】

図10は、本発明に係るボクセルモデリング用プログラムがインストールされたボクセルモデリング装置としてのコンピュータ20Aの概略構成図である。なお、以下の説明において、ここまでで説明した要素等と同一の要素等には同一の参照符号を付し、重複する説明を省略する。

【0060】

図10に示すように、コンピュータ20Aにおいてボクセルモデリング用プログラムが起動されると、表示装置30の表示画面31にウィンドウ90Aが表示される。ウィンドウ90Aは、2D座標指定領域92Aと3D画像表示領域93Aとを含む。2次元空間としての2D座標指定領域92Aには、第N段階のシェルピンスキー・カーペット100Aが表示され、ユーザによりシェルピンスキー・カーペット100Aの何れかの正方形領域が選択されると、例えば当該正方形領域が塗りつぶされたように表示される。また、3D画像表示領域93Aには、2D座標指定領域92Aに表示されたシェルピンスキー・カーペット100A上でユーザにより指定（選択）された2D位置（ピクセル単位のx y座標）すなわち何れかの正方形領域に対応したボクセルに基づいてモデリング部23Aにより設定された3次元形状を示す3D画像300が表示される。図10の例において、モデリング部23は、上述の対応規則（テーブル）を用いて、シェルピンスキー・カーペット100上で指定された正方形領域に対応する1個のボクセルの $2^N \times 2^N \times 2^N$ 個のボクセルからなるボクセル空間における位置を取得し、取得した位置のボクセルを消去することにより立方体を削り出すようにして3次元形状を設定する。

20

30

【0061】

このように、解像度N（第N段階）のシェルピンスキー・カーペットとボクセル空間とを対応付けると共に、2次元空間上での2次元位置の指定により3次元空間における3次元位置の指定を可能とすれば、3次元形状をボクセルの集合として表現するボクセルモデリングをも容易に実行可能となる。また、このようにして解像度Nのシェルピンスキー・カーペットを用いて立体形状をモデリングした場合、必然的に値Nよりも小さい解像度に対応したボクセルモデルデータを得ることができる。そして、ボクセルモデリング用プログラムがインストールされたコンピュータ20Aによれば、各ボクセルにボクセル値を付与しておくことで、ポリゴンモデリングとは異なり、3次元形状の表面のみならず形状内部の密度といったような内部データまでモデリングすることが可能となる。なお、このようなボクセルモデリングにより得られる3次元形状は滑らかな表面を有するものではないが、例えばマーチングキューブ法（Lorenson W.E., Cline H.E., "Marching Cubes: A High Resolution 3D Surface Construction Algorithm"等参照）といった手法を用いることで3次元形状の表面を滑らかなものに近似することができる。また、図10の例では、シェルピンスキー・カーペット100上で指定された正方形領域に対応するボクセルをボクセル空間から消去することにより3次元形状を設定しているが、これに限られるものではない。すなわち、シェルピンスキー・カーペット100上で指定された正方形領域に対応するボクセルを積み上げるように、すなわち、指定された正方形領域に対応するボクセルの集合として3次元形状を設定してもよい。

40

【0062】

50

以上、実施例を用いて本発明の実施の形態について説明したが、本発明は上記実施例に何ら限定されるものではなく、本発明の要旨を逸脱しない範囲内において、様々な変更をなし得ることはいうまでもない。

【産業上の利用可能性】

【0063】

本発明は、3次元空間における3次元位置の指定や3次元形状表現を必要とする情報処理分野において利用可能である。

【図面の簡単な説明】

【0064】

【図1】本発明の実施例に係る3次元位置指定用プログラムがインストールされた3次元位置指定装置としてのコンピュータ20の概略構成図である。

10

【図2】表示装置30の表示画面31に表示されるウィンドウ90の一例を示す説明図である。

【図3】実施例のコンピュータ20において実行される3D座標設定ルーチンの一例を示すフローチャートである。

【図4】実施例における対応規則を説明するための説明図である。

【図5】第1段階のシェルピンスキー・カーペットを構成する8個の正方形領域と8個のボクセルの3D座標とを対応付けするテーブルの一例を示す説明図である。

【図6】2D座標(x, y)に対応した第N段階のシェルピンスキー・カーペットの正方形領域を特定する手順を示す説明図である。

20

【図7】ボクセル空間を構成する8^N個のボクセルから2D座標(x, y)に対応したボクセルを特性する手順を模式的に示す説明図である。

【図8】図4のステップS120における座標変換処理の一例を示すフローチャートである。

【図9】実施例のコンピュータ20において実行される3D描画ルーチンの一例を示すフローチャートである。

【図10】本発明の応用例に係るボクセルモデリングプログラムがインストールされたボクセルモデリング装置としてのコンピュータ20Aの概略構成図である。

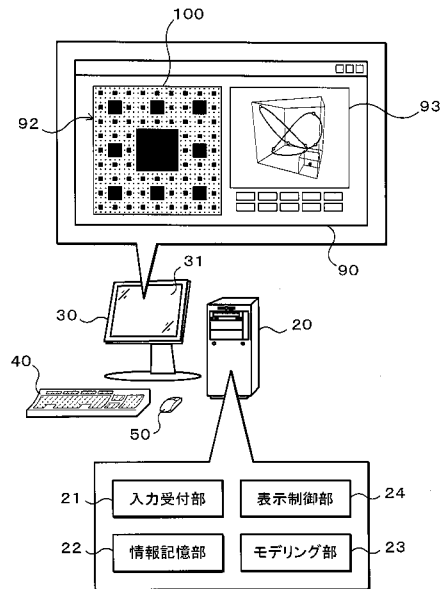
【符号の説明】

【0065】

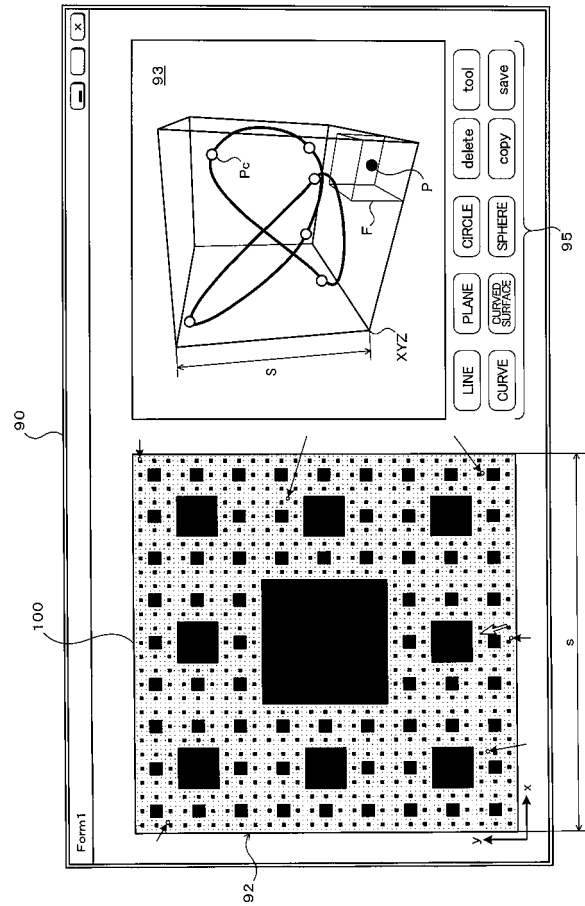
30

20, 20A コンピュータ、21 入力受付部、22 情報記憶部、23, 23A モデリング部、24 表示制御部、30 表示装置、31 表示画面、40 キーボード、50 マウス、90, 90A ウィンドウ、92, 92A 2D座標指定領域、93, 93A 3D画像表示領域、95 ボタン、100, 100A シェルピンスキー・カーペット、300 3D画像。

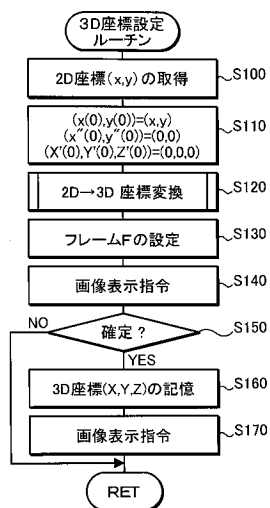
【図 1】



【図 2】



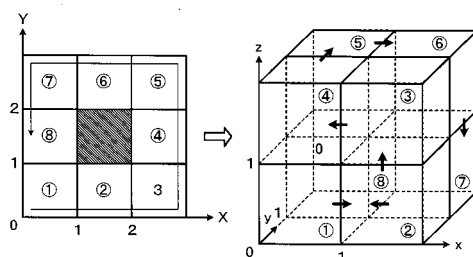
【図 3】



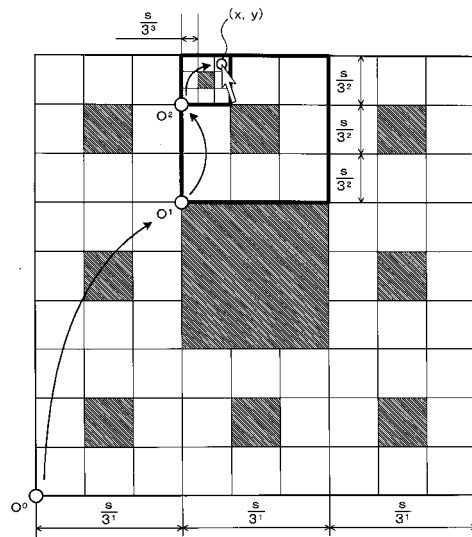
【図 5】

2D	3D
(0, 0)	(0, 0, 0)
(1, 0)	(1, 0, 0)
(2, 0)	(1, 0, 1)
(2, 1)	(0, 0, 1)
(2, 2)	(0, 1, 1)
(1, 2)	(1, 1, 1)
(0, 2)	(1, 1, 0)
(0, 1)	(0, 1, 0)

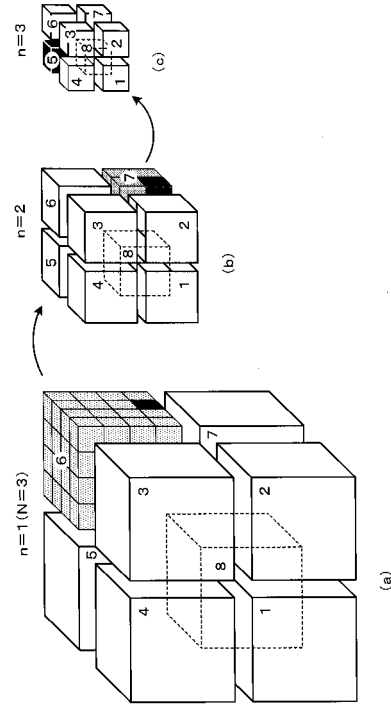
【図 4】



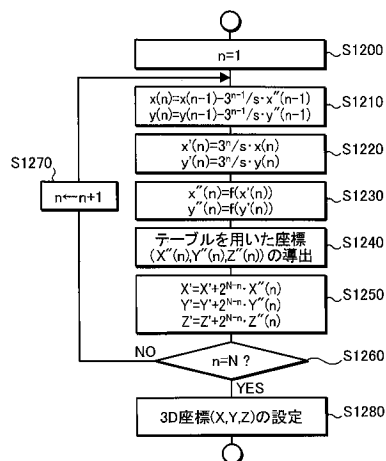
【図 6】



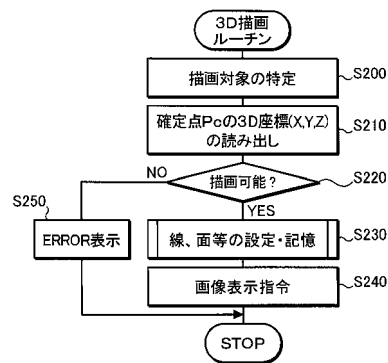
【図 7】



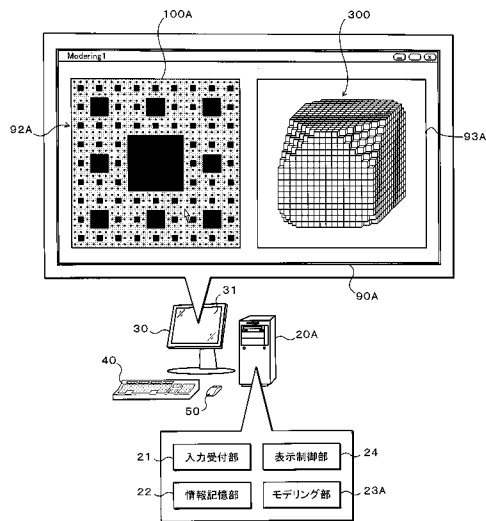
【図 8】



【図 9】



【図10】



フロントページの続き

(56)参考文献 特開昭61-169927(JP,A)

岩丸雅紀,岡本孝司,フラクタル図形を用いたボリュームデータの2次元展開による可視化手法
 , 可視化情報学会誌, 社団法人可視化情報学会, 2008年 7月 1日, 第28巻, Suppl.No.1
 , p.75-78

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

G 0 6 F	3 / 0 4 1
G 0 6 F	3 / 0 4 8
G 0 6 F	1 7 / 5 0
G 0 9 G	5 / 1 4
G 0 9 G	5 / 3 6