

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第4710029号  
(P4710029)

(45) 発行日 平成23年6月29日(2011.6.29)

(24) 登録日 平成23年4月1日(2011.4.1)

(51) Int.Cl. F I  
G06T 15/00 (2011.01) G06T 15/00 I 00A

請求項の数 6 (全 29 頁)

<p>(21) 出願番号 特願2005-143800 (P2005-143800)                  (22) 出願日 平成17年5月17日 (2005.5.17)                  (65) 公開番号 特開2006-323465 (P2006-323465A)                  (43) 公開日 平成18年11月30日 (2006.11.30)                  審査請求日 平成20年3月27日 (2008.3.27)</p> <p>(出願人による申告) 平成17年度独立行政法人情報通信研究機構、研究テーマ「超高速知能ネットワーク社会に向けた新しいインタラクション・メディアの研究開発」に関する委託研究、産業活力再生特別措置法第30条の適用を受ける特許出願</p>	<p>(73) 特許権者 393031586                  株式会社国際電気通信基礎技術研究所                  京都府相楽郡精華町光台二丁目2番地2                  (74) 代理人 100067828                  弁理士 小谷 悦司                  (74) 代理人 100096150                  弁理士 伊藤 孝夫                  (74) 代理人 100109438                  弁理士 大月 伸介                  (72) 発明者 荒川 佳樹                  京都府相楽郡精華町光台二丁目2番地2                  株式会社国際電気通信基礎技術研究所内                  審査官 田中 幸雄</p> <p style="text-align: right;">最終頁に続く</p>
--	--

(54) 【発明の名称】 幾何図形データ処理装置、幾何図形データ処理方法及び幾何図形データ処理プログラム

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

幾何図形データに対して演算処理を行う幾何図形データ処理装置であって、  
 幾何図形データを誤差有り形式で記憶するための誤差記憶手段と、  
 幾何図形データを無誤差形式で記憶するための無誤差記憶手段と、  
 前記誤差記憶手段に記憶されている誤差有り形式の幾何図形データを誤差有り演算により処理する誤差演算手段と、

前記誤差演算手段により誤差有り演算処理を実行された誤差有り形式の幾何図形データを無誤差形式の幾何図形データへ変換する変換手段とを備え、

前記幾何図形データは、3 三角形面データ又は 3 三角形の 3 つの頂点が同一直線上に位置するゼロ 3 角形データを含み、

前記変換手段により変換された無誤差形式の幾何図形データの前記 3 三角形面データ及び前記ゼロ 3 角形データに対して退化 3 角形面を検出して除去する退化 3 角形検出除去手段と、

前記変換手段により変換された無誤差形式の幾何図形データの前記 3 三角形面データ及び前記ゼロ 3 角形データに対して重なり 3 角形面を検出して除去する重なり面検出除去手段と、

前記変換手段により変換された無誤差形式の幾何図形データの前記 3 三角形面データ及び前記ゼロ 3 角形データに対して反転境界面を検出して除去する反転境界面検出除去手段とをさらに備えることを特徴とする幾何図形データ処理装置。

10

20

## 【請求項 2】

前記無誤差記憶手段に記憶されている無誤差形式の幾何図形データを無誤差演算により処理する無誤差演算手段と、

前記誤差記憶手段及び前記無誤差記憶手段に記憶されている幾何図形データの数値を予め設定された桁数に応じて切り捨てる切り捨て手段とをさらに備え、

前記変換手段は、さらに、前記無誤差記憶手段に記憶されている無誤差形式の幾何図形データを誤差有り形式の幾何図形データへ変換し、

前記退化 3 角形検出除去手段、前記重なり面検出除去手段及び前記反転境界面検出除去手段は、前記誤差演算手段により誤差有り演算処理を実行された幾何図形データ、前記変換手段によりデータ形式の変換処理が実行された幾何図形データ、及び前記切り捨て手段により切り捨て処理が実行された幾何図形データに対して退化 3 角形面、重なり 3 角形面及び反転境界面を検出して除去することを特徴とする請求項 1 記載の幾何図形データ処理装置。

10

## 【請求項 3】

前記退化 3 角形検出除去手段、前記重なり面検出除去手段及び前記反転境界面検出除去手段は、同次座標幾何処理と可変長ビットの整数演算とを用いて無誤差幾何処理を行うことにより前記幾何図形データに対して発生する退化 3 角形面、重なり 3 角形面及び反転境界面を検出して除去することを特徴とする請求項 1 又は 2 記載の幾何図形データ処理装置。

## 【請求項 4】

前記切り捨て手段は、前記退化 3 角形検出除去手段、前記重なり面検出除去手段及び前記反転境界面検出除去手段により退化 3 角形面、重なり 3 角形面及び反転境界面を除去された幾何図形データの数値の桁数が増加した場合、当該幾何図形データの数値を予め設定された桁数に応じて切り捨てることを特徴とする請求項 3 記載の幾何図形データ処理装置。

20

## 【請求項 5】

幾何図形データを誤差有り形式で記憶するための誤差記憶手段と、幾何図形データを無誤差形式で記憶するための無誤差記憶手段と、誤差演算手段と、変換手段と、退化 3 角形検出除去手段、重なり面検出除去手段及び反転境界面検出除去手段とを備える幾何図形データ処理装置を用いて、幾何図形データに対して演算処理を行う幾何図形データ処理方法であって、

30

前記幾何図形データは、3 角形面データ又は 3 角形の 3 つの頂点が同一直線上に位置するゼロ 3 角形データを含み、

前記誤差演算手段が、前記誤差記憶手段に記憶されている誤差有り形式の幾何図形データを誤差有り演算により処理するステップと、

前記変換手段が、前記誤差演算手段により誤差有り演算処理を実行された誤差有り形式の幾何図形データを無誤差形式の幾何図形データへ変換するステップと、

前記退化 3 角形検出除去手段が、前記変換手段により変換された無誤差形式の幾何図形データの前記 3 角形面データ及び前記ゼロ 3 角形データに対して退化 3 角形面を検出して除去するステップと、

40

前記面検出除去手段が、前記変換手段により変換された無誤差形式の幾何図形データの前記 3 角形面データ及び前記ゼロ 3 角形データに対して重なり 3 角形面を検出して除去するステップと、

前記反転境界面検出除去手段が、前記変換手段により変換された無誤差形式の幾何図形データの前記 3 角形面データ及び前記ゼロ 3 角形データに対して反転境界面を検出して除去するステップとを含むことを特徴とする幾何図形データ処理方法。

## 【請求項 6】

3 角形面データ又は 3 角形の 3 つの頂点が同一直線上に位置するゼロ 3 角形データを含む幾何図形データに対して演算処理を行うための幾何図形データ処理プログラムであって、

50

幾何図形データを誤差有り形式で記憶するための誤差記憶手段と、  
幾何図形データを無誤差形式で記憶するための無誤差記憶手段と、  
前記誤差記憶手段に記憶されている誤差有り形式の幾何図形データを誤差有り演算により処理する誤差演算手段と、

前記誤差演算手段により誤差有り演算処理を実行された誤差有り形式の幾何図形データを無誤差形式の幾何図形データへ変換する変換手段と、

前記変換手段により変換された無誤差形式の幾何図形データの前記3角形面データ及び前記ゼロ3角形データに対して退化3角形面を検出して除去する退化3角形検出除去手段と、

前記変換手段により変換された無誤差形式の幾何図形データの前記3角形面データ及び前記ゼロ3角形データに対して重なり3角形面を検出して除去する重なり面検出除去手段と、

前記変換手段により変換された無誤差形式の幾何図形データの前記3角形面データ及び前記ゼロ3角形データに対して反転境界面を検出して除去する反転境界面検出除去手段としてコンピュータを機能させることを特徴とする幾何図形データ処理プログラム。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、幾何図形データに対して演算処理を行う幾何図形データ処理装置、幾何図形データ処理方法及び幾何図形データ処理プログラムに関するものである。

【背景技術】

【0002】

従来、幾何図形処理は、浮動小数点演算を用いて行うのが一般的である。この浮動小数点演算を用いた幾何図形処理は、幅広い幾何図形処理に適用でき、処理が高速で高い実用性がある。しかしながら、浮動小数点演算では、通常、演算桁数（有効桁数）が一定であるため、演算誤差が発生し、この演算誤差が浮動小数点演算の繰り返しにより蓄積されていく。このような演算誤差及びその蓄積により、浮動小数点演算をベースとした幾何図形処理では、処理が破綻して処理系が暴走するという問題があった。以下、この浮動小数点演算等の誤差を生じる演算をベースにした幾何処理を、誤差（有り）幾何処理（誤差（有り）演算処理）と呼ぶことにする。

【0003】

上記の浮動小数点演算の演算誤差及びその蓄積による幾何処理の破綻を解決する方法として、本願発明者は、超3角形（ゼロ3角形）幾何図形データ処理、4次元同次座標系幾何処理及び可変長ビットの整数演算（可変長整数演算）を統合化することにより、演算誤差が発生しない幾何処理を提案した（特許文献1を参照）。この方法では、計算誤差をまったくなくすことにより、計算誤差により生じる幾何演算の破綻を回避し、処理系の完全な安定性を実現することができる。以下、この可変長整数演算等の誤差が発生しない演算をベースにした幾何処理を、無誤差幾何処理（無誤差演算処理）と呼ぶことにする。

【特許文献1】特許第3151710号

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0004】

しかしながら、誤差幾何処理は、適用できる幾何図形処理の範囲が非常に広いが、演算誤差とその蓄積のために、処理が破綻して処理系が暴走し、完全に安定的な処理系を構築することが困難であり、一方、無誤差幾何処理は、幾何処理系の完全な安定性（100%の信頼性）を実現することができるが、適用できる幾何図形処理の範囲が非常に狭く、集合演算等にしか適用できない。

【0005】

本発明の目的は、安定的な処理系を実現することができるとともに、その適用範囲が広い幾何図形データ処理装置、幾何図形データ処理方法及び幾何図形データ処理プログラム

10

20

30

40

50

を提供することである。

【課題を解決するための手段】

【0006】

本発明に係る幾何図形データ処理装置は、幾何図形データに対して演算処理を行う幾何図形データ処理装置であって、幾何図形データを誤差有り形式で記憶するための誤差記憶手段と、幾何図形データを無誤差形式で記憶するための無誤差記憶手段と、誤差記憶手段に記憶されている誤差有り形式の幾何図形データを誤差有り演算により処理する誤差演算手段と、誤差演算手段により誤差有り演算処理を実行された誤差有り形式の幾何図形データを無誤差形式の幾何図形データへ変換する変換手段とを備え、幾何図形データは、3角形面データ又は3角形の3つの頂点が同一直線上に位置するゼロ3角形データを含み、変換手段により変換された無誤差形式の幾何図形データの3角形面データ及びゼロ3角形データに対して退化3角形面を検出して除去する退化3角形検出除去手段と、変換手段により変換された無誤差形式の幾何図形データの3角形面データ及びゼロ3角形データに対して重なり3角形面を検出して除去する重なり面検出除去手段と、変換手段により変換された無誤差形式の幾何図形データの3角形面データ及びゼロ3角形データに対して反転境界面を検出して除去する反転境界面検出除去手段とをさらに備えるものである。

10

【0007】

本発明に係る幾何図形データ処理装置では、誤差有り演算処理を実行された誤差有り形式の幾何図形データを無誤差形式の幾何図形データへ変換し、変換した無誤差形式の幾何図形データに対して発生する退化3角形面、重なり3角形面及び反転境界面を検出して除去しているので、適用できる幾何図形処理の範囲が非常に広い誤差有り演算処理を用いることができるとともに、誤差有り演算処理における誤差により発生する退化3角形面、重なり3角形面及び反転境界面を、無誤差演算処理をベースにした幾何無矛盾化処理により取り除くことができ、矛盾のない幾何図形データを生成して安定的な処理系を実現することができる。また、ゼロ3角形データを用いることにより、不必要な数値桁数の増大及び不必要なデータ量の増大を抑制することができるとともに、幾何図形データにおける退化3角形面、重なり3角形面及び反転境界面を効率的に除去することができる。

20

【0008】

上記幾何図形データ処理装置は、無誤差記憶手段に記憶されている無誤差形式の幾何図形データを無誤差演算により処理する無誤差演算手段と、誤差記憶手段及び無誤差記憶手段に記憶されている幾何図形データの数値を予め設定された桁数に応じて切り捨てる切り捨て手段とをさらに備え、変換手段は、さらに、無誤差記憶手段に記憶されている無誤差形式の幾何図形データを誤差有り形式の幾何図形データへ変換し、退化3角形検出除去手段、重なり面検出除去手段及び反転境界面検出除去手段は、誤差演算手段により誤差有り演算処理を実行された幾何図形データ、変換手段によりデータ形式の変換処理が実行された幾何図形データ、及び切り捨て手段により切り捨て処理が実行された幾何図形データに対して退化3角形面、重なり3角形面及び反転境界面を検出して除去することが好ましい。

30

【0009】

この場合、誤差有り形式の幾何図形データと、無誤差形式の幾何図形データとの双方向データ変換を実現し、誤差有り演算処理と無誤差演算処理とを統合化（ハイブリッド化）することができるので、適用できる幾何図形処理の範囲を大幅に拡大して実用性を高めることができる。また、誤差有り演算の誤差により発生する退化3角形面、重なり3角形面及び反転境界面、幾何図形データのデータ形式の変換により発生する退化3角形面、重なり3角形面及び反転境界面、及び幾何図形データの数値桁数の切り捨てにより発生する退化3角形面、重なり3角形面及び反転境界面を検出して除去しているため、幾何図形データにおける矛盾（不整合）をなくして処理系の安定性を確実に確保することができる。

40

【0012】

退化3角形検出除去手段、重なり面検出除去手段及び反転境界面検出除去手段は、同次座標幾何処理と可変長ビットの整数演算とを用いて無誤差幾何処理を行うことにより幾何

50

図形データに対して発生する退化3角形面、重なり3角形面及び反転境界面を検出して除去することが好ましい。

【0013】

この場合、割算を排除してすべての演算を無誤差で行うことができるので、退化3角形面、重なり3角形面及び反転境界面の除去処理を無誤差で行うことができ、処理系の安定性をより確実に確保することができる。

【0014】

切り捨て手段は、退化3角形検出除去手段、重なり面検出除去手段及び反転境界面検出除去手段により退化3角形面、重なり3角形面及び反転境界面を除去された幾何図形データの数値の桁数が増加した場合、当該幾何図形データの数値を予め設定された桁数に応じて切り捨てるのが好ましい。

10

【0015】

この場合、幾何図形データにおける退化3角形面、重なり3角形面及び反転境界面を除去しながら、退化3角形面、重なり3角形面及び反転境界面の除去処理により発生する不必要な数値桁数の増大及び不必要なデータ量の増大を抑制することができる。

【0016】

本発明に係る幾何図形データ処理方法は、幾何図形データを誤差有り形式で記憶するための誤差記憶手段と、幾何図形データを無誤差形式で記憶するための無誤差記憶手段と、誤差演算手段と、変換手段と、退化3角形検出除去手段、重なり面検出除去手段及び反転境界面検出除去手段とを備える幾何図形データ処理装置を用いて、幾何図形データに対して演算処理を行う幾何図形データ処理方法であって、幾何図形データは、3角形面データ又は3角形の3つの頂点が同一直線上に位置するゼロ3角形データを含み、誤差演算手段が、誤差記憶手段に記憶されている誤差有り形式の幾何図形データを誤差有り演算により処理するステップと、変換手段が、誤差演算手段により誤差有り演算処理を実行された誤差有り形式の幾何図形データを無誤差形式の幾何図形データへ変換するステップと、退化3角形検出除去手段が、変換手段により変換された無誤差形式の幾何図形データの3角形面データ及びゼロ3角形データに対して退化3角形面を検出して除去するステップと、面検出除去手段が、変換手段により変換された無誤差形式の幾何図形データの3角形面データ及びゼロ3角形データに対して重なり3角形面を検出して除去するステップと、反転境界面検出除去手段が、変換手段により変換された無誤差形式の幾何図形データの3角形面データ及びゼロ3角形データに対して反転境界面を検出して除去するステップとを含むものである。

20

30

【0017】

本発明に係る幾何図形データ処理プログラムは、3角形面データ又は3角形の3つの頂点が同一直線上に位置するゼロ3角形データを含む幾何図形データに対して演算処理を行うための幾何図形データ処理プログラムであって、幾何図形データを誤差有り形式で記憶するための誤差記憶手段と、幾何図形データを無誤差形式で記憶するための無誤差記憶手段と、誤差記憶手段に記憶されている誤差有り形式の幾何図形データを誤差有り演算により処理する誤差演算手段と、誤差演算手段により誤差有り演算処理を実行された誤差有り形式の幾何図形データを無誤差形式の幾何図形データへ変換する変換手段と、変換手段により変換された無誤差形式の幾何図形データの3角形面データ及びゼロ3角形データに対して退化3角形面を検出して除去する退化3角形検出除去手段と、変換手段により変換された無誤差形式の幾何図形データの3角形面データ及びゼロ3角形データに対して重なり3角形面を検出して除去する重なり面検出除去手段と、変換手段により変換された無誤差形式の幾何図形データの3角形面データ及びゼロ3角形データに対して反転境界面を検出して除去する反転境界面検出除去手段としてコンピュータを機能させるものである。

40

【発明の効果】

【0018】

本発明によれば、適用できる幾何図形処理の範囲が非常に広い誤差有り演算処理を用いることができるとともに、誤差有り演算処理における誤差により発生する幾何矛盾を取り

50

除き、矛盾のない幾何図形データを生成することができるので、安定的な処理系を実現することができるとともに、その適用範囲が広い幾何図形データ処理装置等を実現することができる。

【発明を実施するための最良の形態】

【0019】

以下、本発明の一実施の形態による幾何図形データ処理装置について図面を参照しながら説明する。図1は、本発明の一実施の形態による幾何図形データ処理装置の構成を示すブロック図である。

【0020】

図1に示す幾何図形データ処理装置は、外部インターフェース部1、誤差幾何データ記憶部2、誤差幾何処理部3、無誤差幾何データ記憶部4、無誤差幾何処理部5、精度管理部6及び幾何無矛盾化処理部7を備え、無誤差幾何処理（可変長整数演算）と誤差幾何処理（浮動小数点演算）とをハイブリッド化した無誤差/誤差ハイブリッド幾何モデリングシステムである。

【0021】

本幾何図形データ処理装置は、CPU（中央演算処理装置）、ROM（リードオンリメモリ）、RAM（ランダムアクセスメモリ）、外部記憶装置、記録媒体駆動装置、入力装置、表示装置、外部機器インターフェース等を備えるコンピュータから構成することができる。この場合、後述する幾何図形データ処理を実行するための幾何図形データ処理プログラムを、CPU等を用いて実行することにより、外部インターフェース部1、誤差幾何データ記憶部2、誤差幾何処理部3、無誤差幾何データ記憶部4、無誤差幾何処理部5、精度管理部6及び幾何無矛盾化処理部7としてコンピュータを機能させることができる。なお、幾何図形データ処理装置の構成は、この例に特に限定されず、上記の各機能の一部又は全部を専用のハードウェアから構成する等の種々の変更が可能である。

【0022】

ここで、誤差幾何処理及び無誤差幾何処理について詳細に説明する。現在、普及しているほとんどすべての計算機には、浮動小数点演算プロセッサが当然のように装備されている。ユーザは、大抵の場合、この浮動小数点演算プロセッサをほとんど意識することなく用いて、数値計算を日常的に行っている。このため、浮動小数点演算により発生する計算誤差に関しても、あまり注意を払わなくなってきており、計算誤差があることすら意識していない場合も多い。

【0023】

また、浮動小数点演算では、整数演算に比べて、はるかに広い範囲の数値が扱うことができ、実数を含む数値計算に非常に適しているが、演算による誤差の発生とその蓄積が起こり、誤差管理を行うことは困難である。すなわち、浮動小数点演算における本質的な問題は、真の誤差管理ができていないこと、また出来ないことにある。このため、システム（処理系）が暴走及び破綻し、処理の完全な安定性を実現することが難しく、高信頼性を有するシステムを作成することが困難な場合が多い。

【0024】

例えば、浮動小数点演算等の誤差を伴う演算をベースにした誤差幾何処理の代表例として、ユークリッド座標系幾何処理がある。3次元幾何処理は、通常、3次元のユークリッド座標系（X, Y, Z）を用いて行われる。ユークリッド座標系を用いた幾何図形処理は、いろいろな幾何図形処理に幅広く適用することができ、処理が高速で実用性が非常に高い。

【0025】

しかしながら、ユークリッド座標系の幾何演算では、通常、割り算が発生する。浮動小数点演算を用いた割り算は、その演算誤差のために、計算精度が低下する等の種々の悪影響を及ぼし、システムの信頼性を著しく低下させる。すなわち、本来の幾何学には、誤差という概念そのものがなく、誤差を伴う幾何図形処理（誤差幾何処理）では、処理の完全な安定性（100%の安定性）は保証されない。

10

20

30

40

50

## 【 0 0 2 6 】

一方、無誤差演算（可変長整数演算）等をベースにした無誤差幾何処理の最大の特徴は、演算誤差の発生がまったくないので、完全に安定的な（100%の安定性）幾何処理系を作成することができる点である。また、数学的又は幾何学的に作成されたアルゴリズムは、正確な演算を前提にしているので、そのままプログラムとして実装することができ、プログラムの複雑化を招かない等の特徴を持つ。さらに、無誤差幾何処理では、当然、誤差の管理が必要なく、処理系を安定化させる作業はまったく不要となる。

## 【 0 0 2 7 】

しかしながら、無誤差幾何処理は、無誤差でできる演算の範囲が非常に限定的であること、及び、処理を進めると数値桁数が際限なく増大すること等の本質的な問題点をかかえている。例えば、複数回の集合演算を繰り返すと、幾何図形データを構成する頂点データの数値桁数が際限なく増大していく。

10

## 【 0 0 2 8 】

また、4次元同次座標系幾何処理（以下、「同次座標幾何処理」という）は、3次元の幾何図形処理を、1次元次数を上げた4次元同次座標系（ $X, Y, Z, w$ ）において行うものである。この4次元同次座標（以下、「同次座標」という）は、割り算前のデータであり、同次座標幾何処理では、割算を回避でき、全ての演算は加減算と乗算とのみで済む。したがって、同次座標幾何処理では、無限桁数の循環小数等が発生することはなく、上記の無誤差演算と相性がよい体系である。したがって、同次座標幾何処理は、無誤差演算と組み合わせることにより、数值的に決して破綻することのない無誤差幾何処理を実現することが可能となる。

20

## 【 0 0 2 9 】

上記の知見を基に、本実施の形態では、無誤差幾何処理において、同次座標系の1つであるプリュッカー座標系を用いて、可変長ビットの整数演算により無誤差幾何演算を行っている。以下、この4次元プリュッカー座標系幾何演算（同次座標幾何演算）に関して説明する。

## ( 1 ) 2点から線の生成

2点  $V_0 = (X_0, Y_0, Z_0, w_0)$  及び  $V_1 = (X_1, Y_1, Z_1, w_1)$  を通る直線のプリュッカー座標  $L_{01}$  は、次式で与えられる。なお、 $V_0, V_1, L_{01}$  は、プリュッカー座標（ベクトル列）を表している。

30

$$L_{01} = [P_{01}, Q_{01}, R_{01}, S_{01}, T_{01}, U_{01}] \quad (1)$$

ここで、 $P_{01}$  等は、下式で与えられる。

## 【 0 0 3 0 】

## 【 数 1 】

$$P_{01} = \begin{vmatrix} X_0 & w_0 \\ X_1 & w_1 \end{vmatrix}, \quad Q_{01} = \begin{vmatrix} Y_0 & w_0 \\ Y_1 & w_1 \end{vmatrix}, \quad R_{01} = \begin{vmatrix} Z_0 & w_0 \\ Z_1 & w_1 \end{vmatrix},$$

(2)

$$S_{01} = \begin{vmatrix} Y_0 & Z_0 \\ Y_1 & Z_1 \end{vmatrix}, \quad T_{01} = \begin{vmatrix} Z_0 & X_0 \\ Z_1 & X_1 \end{vmatrix}, \quad U_{01} = \begin{vmatrix} X_0 & Y_0 \\ X_1 & Y_1 \end{vmatrix}$$

40

## 【 0 0 3 1 】

## ( 2 ) 3点から面の生成（平面係数の算出）

3点  $V_0 = (X_0, Y_0, Z_0, w_0)$ 、 $V_1 = (X_1, Y_1, Z_1, w_1)$  及び  $V_2 = (X_2, Y_2, Z_2, w_2)$  を通る面のプリュッカー座標  $F_{012}$  は、次式で与えられる。なお、 $V_0, V_1, V_2, F_{012}$  は、プリュッカー座標（ベクトル列）を表している。

$$F_{012} = [A_{012}, B_{012}, C_{012}, D_{012}] \quad (3)$$

ここで、 $A_{012}$  等は、下式で与えられる。

50

【 0 0 3 2 】

【 数 2 】

$$A_{012} = \begin{vmatrix} Y_0 & Z_0 & w_0 \\ Y_1 & Z_1 & w_1 \\ Y_2 & Z_2 & w_2 \end{vmatrix}, \quad B_{012} = \begin{vmatrix} Z_0 & X_0 & w_0 \\ Z_1 & X_1 & w_1 \\ Z_2 & X_2 & w_2 \end{vmatrix}, \quad (4)$$

$$C_{012} = \begin{vmatrix} X_0 & Y_0 & w_0 \\ X_1 & Y_1 & w_1 \\ X_2 & Y_2 & w_2 \end{vmatrix}, \quad D_{012} = - \begin{vmatrix} X_0 & Y_0 & Z_0 \\ X_1 & Y_1 & Z_1 \\ X_2 & Y_2 & Z_2 \end{vmatrix}$$

10

【 0 0 3 3 】

( 3 ) 線と面の交点計算

2点  $V_a = (X_a, Y_a, Z_a, w_a)$  及び  $V_b = (X_b, Y_b, Z_b, w_b)$  を通る直線と、面  $F_{012}$  との交点  $V$  は、次式で与えられる。なお、 $V_a, V_b, F_{012}, V$  は、プリュッカー座標 (ベクトル列) を表している。

$$V = S_{b012} V_a - S_{a012} V_b \quad (5)$$

ここで、

$$S_{a012} = V_a F_{012} = X_a A_{012} + Y_a B_{012} + Z_a C_{012} + w_a D_{012} \quad (6a) \quad 20$$

$$S_{b012} = V_b F_{012} = X_b A_{012} + Y_b B_{012} + Z_b C_{012} + w_b D_{012} \quad (6b)$$

( 4 ) 2点の一致判定

2点  $V_0 = (X_0, Y_0, Z_0, w_0)$  と  $V_1 = (X_1, Y_1, Z_1, w_1)$  との一致判定は、この2点を通る直線  $L_{01}$  において以下の式が成立することである。

$$L_{01} = [P_{01}, Q_{01}, R_{01}, S_{01}, T_{01}, U_{01}] = [0, 0, 0, 0, 0, 0] \quad (7)$$

( 5 ) 2面の一致判定

2つの平面  $f_0 = [a_0, b_0, c_0, d_0]^T$  と  $f_1 = [a_1, b_1, c_1, d_1]^T$  との一致判定は、点と面の双対性により、上記式 (7) と同じ形式となる。 30

( 6 ) 点の面に対する位置判定

点  $V = (X, Y, Z, w)$  が、平面  $F_{012}$  に対してどの位置にあるかの判定は、次式で与えられる。なお、式 (8) において、 $s$  の符号 +、0、- に対応して、点は、面の正側、面上、面の負側となる。

$$s = V F_{012} = X A_{012} + Y B_{012} + Z C_{012} + w D_{012} \quad (8)$$

( 7 ) 2線分の向き判定

2線分  $L_{01}$  と  $L_{23}$  とが同一直線であるときには、両者の向きの判定は、次式で与えられる。なお、式 (9) において、両者の向きは、 $s$  が正のときは同じ方向、負のときは逆向きとなる。 40

$$s = L_{01} L_{23} \quad (9)$$

( 8 ) 2面の向き判定

2面  $F_{012}$  と  $F_{345}$  とが同一平面であるときには、両者の向きの判定は、次式で与えられる。なお、式 (10) において、両者の向きは、 $s$  が正のときは同じ方向、負のときは逆向きとなる。

$$s = F_{012} F_{345} \quad (10)$$

また、本実施の形態では、上記の無誤差幾何処理と誤差幾何処理とは、排他関係ではなく、補完関係にあると考え、無誤差幾何処理と誤差幾何処理とをハイブリッド化して両者を統合することにより、完全な安定性 (信頼性 100%) を実現するとともに、無誤差幾何処理自体の実用性を向上する。すなわち、本実施の形態では、超3角形幾何処理が持つ 50



単純性等の特性を最大限活用し、且つ同次幾何処理及び可変長整数演算をベースにして無誤差幾何処理を実現することにより、幾何無矛盾化処理部 7 及び無誤差幾何処理部 5 における処理の完全な安定性を実現する。

【 0 0 3 4 】

ここで、上記の超 3 角形幾何処理について説明する。図 2 は、ゼロ 3 角形及び超 3 角形幾何処理を説明するための模式図である。3 次元幾何モデリング法の 1 つとして、B R e p ( Boundary Representation ) が広く普及している。B R e p では、一般的に、図 2 の ( a ) に示すように、その境界面は任意の多角形面 ( 以下、単に多角形と呼称する ) を用いて表現されて処理される。ここでは、境界面が平面で構成される平面多面体 B R e p に限定する。

10

【 0 0 3 5 】

幾何図形処理が複雑化するのには、任意の多角形をベースとしていることに主因している。一方、3 角形面 ( 以下、単に 3 角形と呼称する ) は究極的に単純な基本図形であり、幾何学的には「 2 次元単体」と呼ばれる。そこで、3 角形のみを用いて B R e p を構成すると、ある意味で究極的に単純な幾何表現及び処理が実現できる。図 2 の ( b ) に示す例は、( a ) の多角形表現を通常の 3 角形表現とした図である。

【 0 0 3 6 】

しかしながら、3 角形幾何処理は、集合演算などの処理の過程で、3 角形の数 ( データ量 ) が急激に増えてしまう等の大きな欠点も併せ持つ。この欠点を解消するために、図 2 の ( c ) に示すように、通常の 3 角形幾何の概念を拡張し、3 角形の 3 つの頂点が同一直線上となる退化した 3 角形幾何を考案した。図 2 の ( c ) では、頂点 A , B , C 及び D は、実際は同一直線上にあり、この退化した 3 角形をその面積がゼロになることから、「ゼロ 3 角形」と呼称し、また 3 つの頂点が同一直線上にない通常の 3 角形を「実 3 角形」と呼称する。そして、退化した 3 角形であるゼロ 3 角形を包含する 3 角形幾何処理を、拡張された処理形式ということで超 3 角形幾何表現処理形式 ( 超 3 角形幾何処理 ) と呼称する。

20

【 0 0 3 7 】

図 2 の ( b ) と ( c ) に示す立体の前面を構成する実 3 角形の数を比較すると、( b ) の従来法では、面を表現するのに 1 3 個が必要であるが、( c ) の超 3 角形法では約半分の 7 個で済む。このように、ゼロ 3 角形を用いることにより、より少ない実 3 角形 ( 通常 3 角形 ) で面分を表現することが可能となる。また、ゼロ 3 角形は、通常の 3 角形処理から除外できる場合が多い。このように、超 3 角形幾何処理では、ゼロ 3 角形を用いることにより、3 角形幾何処理の単純性はほとんど損なうことなく、大きな欠点であった 3 角形の数の増大を抑制することができ、結果として、処理性を向上させることができる。

30

【 0 0 3 8 】

すなわち、ゼロ 3 角形は退化図形ではあるが、超 3 角形幾何処理では、このゼロ 3 角形の特性をむしろ逆手にとって、長所として積極的に活用しようとするものである。ゼロ 3 角形は、3 角形が完全につぶれた「線形の 3 角形」であり、3 角形と線分との両方の特性 ( 2 面性 ) を合わせ持つ。したがって、超 3 角形幾何処理では、ゼロ 3 角形を含む 3 角形幾何が持つ根元性と単純性とを最大限利用することにより、高効率且つ柔軟な幾何図形処理を実現することができる。

40

【 0 0 3 9 】

一方、超 3 角形幾何処理の短所は、ゼロ 3 角形という退化した、特別且つ特殊な 3 角形を注意深く取り扱う必要があることである。大抵の場合、実 3 角形処理 ( 通常 3 角形処理 ) とゼロ 3 角形処理とは別処理となる。このため、処理系が、通常 3 角形処理に比べて少し複雑化する。また、どの処理を、ゼロ 3 角形を含む超 3 角形幾何処理とするかを、通常の 3 角形幾何処理との比較で検討する必要があるが、両者のバランスをうまく取らないと、処理が効率化されず、データ量も削減されない。

【 0 0 4 0 】

上記の超 3 角形幾何処理と、3 次元ユークリッド座標系及び浮動小数点演算を組み合わせ

50

せることにより、例えば集合演算の複雑性の問題を解決することができる。この超3角形幾何処理に関しては、特許第3018151号「3次元図形データの演算処理方法及びその装置」に詳述されているので、さらに詳細な説明は省略する。

#### 【0041】

しかしながら、上記の超3角形幾何処理では、処理の単純化及び高速化は実現されているが、処理の不安定性の問題は残ったままであり、処理系の100%の安定性は達成されていない。この超3角形幾何処理の不安定性を根本的に解決するアプローチとして、超3角形幾何処理、同次幾何処理及び無誤差演算（可変長整数演算）を統合化した同次超3角形幾何処理を考案した。この同次超3角形幾何処理では、集合演算の演算誤差による不安定性の問題を解消して100%の安定性を達成することができる。なお、この同次超3角形幾何処理に関しては、特許第3151710号「3次元図形の形状演算装置」及び特願2004-004690「3次元幾何データの無矛盾化方法及びそのシステム」に詳述されているので、さらに詳細な説明は省略する。

10

#### 【0042】

再び、図1を参照して、外部インターフェース部1は、計算機等の外部システム8から幾何図形データを読み込むとともに、幾何図形データが誤差幾何データの場合は、誤差幾何データ記憶部2に格納し、幾何図形データが無誤差幾何データの場合は、無誤差幾何データ記憶部4に格納する。また、外部インターフェース部1は、読み込んだ幾何図形データに対して誤差幾何処理又は無誤差幾何処理のいずれを実行すべきかを指示する演算指令を外部システム8から受け付け、誤差幾何データ記憶部2又は無誤差幾何データ記憶部4を介して誤差幾何処理部3又は無誤差幾何処理部5に通知する。さらに、外部インターフェース部1は、本幾何図形データ処理装置により処理された又は新たに生成された幾何図形データを誤差幾何データ記憶部2又は無誤差幾何データ記憶部4から読み出して外部システム8へ転送する。

20

#### 【0043】

誤差幾何データ記憶部2は、超3角形データ記憶部21及び頂点データ記憶部22を備え、超3角形データ記憶部21には、誤差幾何処理の対象となる立体データ、実3角形データ、ゼロ3角形データ及び交線データ等の誤差幾何データが記憶され、これらのデータを構成する頂点データがユークリッド座標系を用いて頂点データ記憶部22に記憶される。

30

#### 【0044】

無誤差幾何データ記憶部4は、同次超3角形データ記憶部41及び同次頂点データ記憶部42を備え、同次超3角形データ記憶部41には、無誤差幾何処理の対象となる立体データ、実3角形データ、ゼロ3角形データ及び交線データ等の無誤差幾何データが記憶され、これらのデータを構成する頂点データが同次座標系を用いて同次頂点データ記憶部42に記憶される。

#### 【0045】

ここで、本実施の形態に用いられるデータ形式について説明する。図3は、ユークリッド座標系及び同次座標系の座標データ及び数値データ並びに超3角形データのデータ構成の一例を示す図である。

40

#### 【0046】

まず、頂点データは、座標データ形式で格納され、誤差幾何処理の場合はユークリッド座標が用いられ、無誤差幾何処理の場合は同次座標が用いられる。具体的には、図3の(a)に示すように、ユークリッド座標データ(X, Y, Z)は、X座標値、Y座標値及びZ座標値から構成される。各座標値は、浮動小数点データとして表現され処理される。また、図3の(b)に示すように、浮動小数点データは、符号部、指数部及び仮数部から構成される。

#### 【0047】

一方、図3の(c)に示すように、同次座標データ(X, Y, Z, w)は、X座標値、Y座標値、Z座標値及びw座標値から構成される。各座標値は、可変長ビットの整数デー

50

タとして表現され処理される。また、図3の(d)に示すように、可変長整数データは、語長部、符号部、そして数値部(整数表現)から構成される。

【0048】

また、図3の(e)に示すように、超3角形データ(実3角形データ又はゼロ3角形データ)は、3角形の3つの頂点データ(座標データ)へのポイント(v<sub>0</sub>, v<sub>1</sub>, v<sub>2</sub>)、3つの隣接する超3角形データ(実3角形データ又はゼロ3角形データ)へのポイント(t<sub>0</sub>, t<sub>1</sub>, t<sub>2</sub>)、及び実3角形データ又はゼロ3角形データのどちらであるかを示すフラグfから構成される。ここで、ポイントとは、記憶装置(メモリ)上において、該当データが格納されている番地(アドレス)を示すデータである。なお、fは必ずしも必要ではなく、省略することができるが、本実施の形態では、処理の効率化のためにfを用いている。

10

【0049】

図示を省略しているが、立体データは、実3角形データ及びゼロ3角形データの集合体であり、上記と同様に、これらのデータへのポイントから構成される。交線データは、交線の始点及び終点となる頂点データへのポイント(v<sub>0</sub>, v<sub>1</sub>)と、交線を挟んで隣接する2つの3角形データへのポイント(t<sub>0</sub>, t<sub>1</sub>)とから構成される。

【0050】

誤差幾何処理部3は、超3角形幾何処理部31、ユークリッド座標処理部32及び浮動小数点演算処理部33を備え、超3角形幾何処理部31をベースにした3次元幾何モデリングシステム(ソリッドモデラ)であり、ユークリッド座標処理部32と浮動小数点演算処理部33とを用いて誤差幾何処理(誤差有り幾何処理)を実行する。

20

【0051】

超3角形幾何処理部31は、誤差幾何データ記憶部2の頂点データ記憶部22に蓄積された頂点データ(浮動小数点データ)を順次読み出してユークリッド座標処理部32へ出力する。ユークリッド座標処理部32は、浮動小数点演算処理部33を用いて、ユークリッド座標系における座標の変換処理、例えば、頂点座標の移動、回転及びスケーリングの座標変換処理を浮動小数点演算により実行する。超3角形幾何処理部31は、ユークリッド座標処理部32による処理結果を再び頂点データ記憶部22に格納する。

【0052】

例えば、座標回転変換処理の場合、ユークリッド座標系により表現された頂点データV=(X, Y, Z)を、その原点を中心にX座標軸回りにθ度回転した頂点データV'=(X', Y', Z')は、以下の処理(3次元ユークリッド座標処理)により求めることができる。

30

【0053】

【数3】

$$\begin{pmatrix} X' \\ Y' \\ Z' \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & C & -S \\ 0 & S & C \end{pmatrix} \begin{pmatrix} X \\ Y \\ Z \end{pmatrix} \quad (11)$$

40

【0054】

ここで、

$$C = \cos(\theta), S = \sin(\theta) \quad (12)$$

である。このように、座標回転変換処理では、3角関数(無理数)を伴うので、原理的に整数表現はできず、無誤差演算を適用することができないため、誤差演算(浮動小数点演算)が用いられる。すなわち、座標回転変換処理には誤差幾何処理が適している。

【0055】

無誤差幾何処理部5は、同次超3角形幾何処理部51、4次元同次座標系幾何処理部52及び可変長ビット整数演算器53を備える。無誤差幾何処理部5は、同次超3角形幾何

50

処理部 5 1 をベースにした 3 次元幾何モデリングシステムであり、4 次元同次座標系幾何処理部 5 2 による 4 次元同次座標系幾何処理及び可変長ビット整数演算器 5 3 による可変長整数演算を用いて幾何処理を無誤差で実行する。この場合、幾何処理の不安定性の問題を根本から解決し、無誤差幾何処理部 5 において 100% の安定性を確保することができる。

【0056】

同次超 3 角形幾何処理部 5 1 は、2 つの異なる立体（超 3 角形データ）に対して形状和、形状差及び形状積の集合演算等を無誤差で実行する。4 次元同次座標系幾何処理部 5 2 は、4 次元同次座標系での演算処理を行うプリュッカー座標演算器である。可変長ビット整数演算器 5 3 は、加算器、減算器及び乗算器としての機能を有し、加算、減算及び乗算を可変長ビットの整数演算を用いて無誤差で行う。

10

【0057】

例えば、同次超 3 角形幾何処理部 5 1 は、無誤差幾何データ記憶部 4 の同次超 3 角形データ記憶部 4 1 に蓄積された同次超 3 角形データ、及び同次頂点データ記憶部 4 2 に蓄積された同次頂点データ（可変長整数データ）を読み出し、これらのデータに対して 4 次元同次座標系幾何処理部 5 2 及び可変長ビット整数演算器 5 3 を用いて集合演算処理を行い、その結果を再び無誤差幾何データ記憶部 4 に格納させる。上記の平面多面体の集合演算処理は、有理数のみで行うことができ、無理数が介在しないため、可変長整数演算ですべてを行うことができ、無誤差幾何処理で行うことができる。なお、この無誤差集合演算処理としては、特許第 3 1 5 1 7 1 0 号「3 次元図形の形状演算装置」に記載されている無誤差演算処理を用いることができるので、詳細な説明を省略する。

20

【0058】

精度管理部 6 は、数値データ切り捨て処理部 6 1 及びデータ変換処理部 6 2 を備え、数値の精度の管理、すなわち、頂点データ（頂点座標値データ）の数値桁数の管理を行うとともに、頂点データの数値のデータ形式を誤差有り形式（浮動小数点フォーマット）と無誤差形式（可変長整数フォーマット）との間で双方向に変換する。

【0059】

数値データ切り捨て処理部 6 1 は、浮動小数点で表現された頂点データ及び可変長整数で表現された頂点データに対して、要求桁数（要求精度）に応じて、その数値桁数を切り捨てる処理を行う。例えば、1 回の無誤差集合演算が行われる度に、頂点座標値データの桁数が（通常）増大するため、数値データ切り捨て処理部 6 1 は、集合演算の度に、予め設定された要求桁数に応じて頂点データ（可変長整数）の下位桁の切り捨てを行う。なお、要求桁数は、上記のように予め設定されたものに特に限定されず、外部システム 8 からの要求に応じて桁数を設定したり、計算過程において適応的に設定する等の種々の変更が可能である。

30

【0060】

ここで、数値の精度の管理について説明する。上記の無誤差幾何処理の欠点の 1 つは、計算が進むにつれて数値桁数が際限なく増大することである。例えば、複数回の集合演算を無誤差幾何処理で繰り返すと、頂点データの数値桁数が際限なく増大し、この数値桁数の増大は無誤差幾何処理の原理的なものであり、不可避である。しかしながら、幾何処理の実用面を考えると、ある精度以上の計算は必要でない場合がほとんどである。

40

【0061】

したがって、本実施の形態では、上記の数値桁数の増大を回避するため、数値データ切り捨て処理部 6 1 を用いて、要求精度に応じて頂点データの数値桁数を切り捨てることにより、無誤差演算処理に桁数制限を導入して精度（誤差）を管理している。

【0062】

ここで、「誤差演算処理による誤差」と「無誤差演算処理による誤差」とは、まったく別物であることを強調しておく。前者では、絶えず誤差が発生し蓄積されていく。そして、このような状況下、誤差を把握して管理をすることが難しく、誤差管理をすることは不可能であるといっても過言ではない。このように、誤差演算処理による誤差は制御不能で

50

あり、「受動的な」誤差である。一方、後者では、誤差が発生する時点は限定的及び選択的であり、頂点の座標値の切り捨て処理時にのみ誤差が発生する。すなわち、誤差が絶えず発生することはなく、また蓄積されていくこともない。この誤差は制御可能であり、「能動的な」誤差である。無誤差幾何処理においても、実用面を考えると、ある精度以上の計算は必要でない場合がほとんどである。

【 0 0 6 3 】

データ変換処理部 6 2 は、ユークリッド座標データ（浮動小数点フォーマット）から同次座標データ（可変長整数フォーマット）への変換処理、及びその逆の同次座標データからユークリッド座標データへ変換処理を実行する。

【 0 0 6 4 】

ユークリッド座標データ  $V_e = (X_e, Y_e, Z_e)$  から同次座標データ  $V_h = (X_h, Y_h, Z_h, w_h)$  への変換処理は、以下の式を用いて行われる。

【 0 0 6 5 】

$$(X_h, Y_h, Z_h, w_h) = (X_e, Y_e, Z_e, 1) \quad (13)$$

さらに、各座標値に対して、浮動小数点データから整数データへのフォーマット変換処理が行われる。

【 0 0 6 6 】

一方、同次座標データ  $V_h = (X_h, Y_h, Z_h, w_h)$  からユークリッド座標データ  $V_e = (X_e, Y_e, Z_e)$  への変換処理は、以下の式を用いて行われる。

【 0 0 6 7 】

$$(X_e, Y_e, Z_e) = (X_h / w_h, Y_h / w_h, Z_h / w_h) \quad (14)$$

さらに、各座標値に対して、整数（分数）データから浮動小数点データへの各座標値のフォーマット変換処理が行われる。

【 0 0 6 8 】

幾何無矛盾化処理部 7 は、退化 3 角形処理部 7 1、重なり 3 角形処理部 7 2 及び反転境界面処理部 7 3 を備え、数値桁数の切り捨てに伴う頂点データの変動により発生する幾何矛盾をなくす幾何無矛盾化処理を実行する。この幾何無矛盾化処理では、矛盾図形である種々の退化図形を扱うために、多角形をベースとした処理では幾何的組み合わせの数が非常に多くなり（幾何組み合わせの爆発）、処理不可能である。

【 0 0 6 9 】

このため、本実施の形態では、超 3 角形幾何処理が持つ究極的な単純性等を最大限利用することにより、幾何無矛盾化処理を構築している。すなわち、退化 3 角形処理部 7 1、重なり 3 角形処理部 7 2 及び反転境界面処理部 7 3 による幾何無矛盾化処理は、無誤差幾何処理部 5 の機能を用いて構築している。

【 0 0 7 0 】

また、幾何無矛盾化処理も無誤差で行われ、100%の安定性を実現することができるが、幾何無矛盾化処理においても数値桁数が増大する（場合がある）ので、数値データ切り捨て処理部 6 1 により、頂点データの数値の切り捨てが行われ、この切り捨てによる幾何矛盾を除去するため、頂点データの数値の切り捨て後に、幾何無矛盾化処理を再度実行する。これらの処理は、幾何矛盾がなくなるまで、すなわち数値桁数の増大がなくなるまで繰り返される。さらに、誤差幾何処理部 3 及びデータ変換処理部 6 2 においても、その誤差等により幾何矛盾が発生する（場合がある）ので、これらの処理の後に、幾何無矛盾化処理を実行する。

【 0 0 7 1 】

ここで、頂点データの変動により発生する幾何矛盾について詳細に説明する。本実施の形態では、立体の境界面（超 3 角形 B R e p）は、一又は複数の 3 角形（実 3 角形及びゼロ 3 角形）のみで構成され、上記の数値の切り捨て、浮動小数点演算誤差、及びデータ変換（浮動小数点 / 整数変換）により、頂点データの数値が変動し、頂点の位置が動く。この頂点の移動により、3 角形自体の形の変化及び 3 角形相互の相対位置の変化が発生し、これらの変化により、以下に説明する幾何矛盾が発生する。

10

20

30

40

50

## 【 0 0 7 2 】

図 4 は、退化 3 角形及びその除去処理を説明するための模式図である。まず、3 角形自体の形の変化に関しては、図 4 に示すように、以下の 3 つのいびつな 3 角形が発生する可能性がある。このようないびつな 3 角形を「退化 3 角形」又は「ゼロ 3 角形」と呼ぶ。

- ( 1 ) 2 頂点が同一点となる 3 角形
- ( 2 ) 3 頂点が同一点となる 3 角形
- ( 3 ) 3 頂点が同一直線上となる 3 角形

このため、退化 3 角形処理部 7 1 は、退化 3 角形面を検出して除去する退化 3 角形検出除去処理を実行する。具体的には、退化 3 角形処理部 7 1 は、上記の 2 頂点が同一となるいびつな 3 角形、3 頂点が同一点となるいびつな 3 角形、及び 3 頂点が同一直線上となるいびつな 3 角形を検出して除去する。なお、超 3 角形幾何処理では、上記の退化 3 角形を特段消去する必要も、例外処理する必要もないが、退化 3 角形を消去すると、データ量（ゼロ 3 角形数）を削減することができるのと同時に、不必要なゼロ 3 角形処理を回避して処理を効率化することができるので、本実施の形態では、退化 3 角形処理部 7 1 により、以下のようにして退化 3 角形を検出して除去している。

## 【 0 0 7 3 】

まず、3 角形データ（実 3 角形データ及びゼロ 3 角形データ）を無誤差幾何データ記憶部 4 から順次取り出し、その頂点データ  $v_0$  ,  $v_1$  ,  $v_2$  を順次読み込む。次に、その 3 つの頂点データ  $v_0$  ,  $v_1$  ,  $v_2$  に関して同一点判定処理を行う。 $v_0 = v_1$  となる場合は、辺  $v_0 v_1$  を挟んで隣接する 2 つの 3 角形データ（図 4 の（ 4 ）の例では  $t_0$  と  $t_1$  ）を消去する。これに伴い、図 4 の（ 4 ）に示すように、消去される 3 角形  $t_0$  ,  $t_1$  を取り囲む 4 つの周辺 3 角形  $t_2$  ,  $t_3$  ,  $t_4$  ,  $t_5$  の隣接接続情報を変更する。図 4 の（ 4 ）では、 $t_0$  と  $t_1$  の消去に伴い、 $t_2$  と  $t_3$  、及び  $t_4$  と  $t_5$  が隣接するようになる。また、 $v_1$  を頂点に持つすべての 3 角形データの頂点  $v_1$  を  $v_0$  とする。図 4 の（ 4 ）では、 $v_1$  を頂点に持つ 3 角形面  $t_3$  ,  $t_5$  ,  $t_6$  の頂点  $v_1$  を  $v_0$  に変更する。そして、頂点データ  $v_1$  を消去する。 $v_0 = v_2$  、 $v_1 = v_2$  となる場合も、上記と同様の処理を行う。以上の処理が、（ 1 ）2 頂点が同一点となる場合、及び（ 2 ）3 頂点が同一点となる場合の退化 3 角形検出除去処理である。

## 【 0 0 7 4 】

次に、（ 3 ）同一頂点を持たない 3 角形データに対して、その 3 つの頂点データ  $v_0$  ,  $v_1$  ,  $v_2$  の同一直線判定処理を行う。これらの 3 つの頂点が同一直線上となる場合は、この 3 角形データをゼロ 3 角形データとして、同一直線上とならない場合は、この 3 角形データを実 3 角形データとして、無誤差幾何データ記憶部 4 に格納する。以上の処理をすべての 3 角形データに関して行う。

## 【 0 0 7 5 】

次に、3 角形相互の相対位置の変化に関して、2 つの 3 角形の位置関係をすべて列挙する。図 5 は、3 角形相互の相対位置の変化により発生する 2 つの 3 角形の位置関係を説明するための模式図であり、図 5 に示すように、5 通りのみとなる。

- ( 1 ) 離れている（ 3 角形 a 及び 3 角形 b ）
- ( 2 ) 交差する（ 3 角形 a 及び 3 角形 c ）
- ( 3 ) 線（辺）で接する（ 3 角形 a 及び 3 角形 d ）
- ( 4 ) 点（頂点）で接する（ 3 角形 a 及び 3 角形 e ）
- ( 5 ) 重なる（同一平面上）（ 3 角形 a 及び 3 角形 f ）

上記の（ 2 ）、（ 3 ）及び（ 5 ）の場合は、幾何矛盾が発生する（場合がある）ので、幾何矛盾形状を除去するために、本実施の形態では、以下に説明する重なり面検出除去処理及び反転境界面検出除去処理を行っている。

## 【 0 0 7 6 】

まず、重なり 3 角形処理部 7 2 は、重なり 3 角形面を検出して除去する重なり面検出除去処理を実行する。具体的には、重なり 3 角形処理部 7 2 は、組にした 3 角形面データの同一平面判定及び面の向きの判定結果に基づき、3 角形面が重なっていると判定した 3 角

10

20

30

40

50

形面に対してその重なりを除去する。

【 0 0 7 7 】

図 6 は、重なり面の一例を示す模式図である。図 6 の ( 1 ) に示す立体は、図 6 の ( 2 ) に示す断面を有し、この立体に対する処理により頂点データが変動すると、図 6 の ( 3 ) に示す断面を有することとなり、境界面に重なる部分 ( 重なる 3 角形 ) が発生する。本実施の形態では、重なり 3 角形処理部 7 2 により、このような重なる 3 角形を検出して除去する。

【 0 0 7 8 】

図 7 は、重なり面検出除去処理を説明するための模式図である。例えば、幾何矛盾の 1 つとして、図 7 の ( 8 ) に示すように、3 角形面が重なり、面のしわとなる場合がある。図 7 の ( 8 ) では、形状の断面図を示しており、頂点 A , B , C , D , E は、同一平面上にあり、3 角形面  $t_i$  と  $t_j$  とが重なっている。このように面が重なるときは、図 7 の ( 8 ) に矢印で示すように、面の向きは必ず逆となる。

【 0 0 7 9 】

このような重なり 3 角形データの検出除去処理として、まず、同一平面上となり、且つ面の向きが逆となる 2 つの 3 角形データのペアを探索する。このために、2 つの実 3 角形データ  $t_i$  ,  $t_j$  を無誤差幾何データ記憶部 4 から順次読み出し、同一平面判定及び面の向き判定を行う。両者が同一平面且つ面の向きが逆となる場合が、重なり面処理の対象となる。同一平面とならない場合又は向きが同じとなる場合は、次の実 3 角形データのペアに処理を進める。

【 0 0 8 0 】

両者が同一平面かつ面の向きが逆となる場合は、両者  $t_i$  と  $t_j$  とが重なるかどうかの判定を行う。重ならない場合は次の実 3 角形データのペアに処理を進める。両者が重なる場合は、一方の 3 角形の頂点により他方の 3 角形を分割する。このときのパターンは、図 7 の ( 1 ) ~ ( 4 ) に示すように、4 通りある。図 7 の ( 1 ) と ( 2 ) のパターンの場合のみが、分割処理の対象となり、3 角形 A B C が頂点 D により分割される。また、図 7 の ( 2 ) の場合、不必要な分割をなくすためにゼロ 3 角形分割を行い、3 角形 A D C がゼロ 3 角形となる。

【 0 0 8 1 】

次に、この分割された 3 角形が他方の分割される前の 3 角形の内部にあるかどうかの判定処理を順次行う。判定される 3 角形の 3 つの頂点すべてが、もう一方の 3 角形の内部 ( 辺上を含む ) となる場合は、前者の 3 角形は後者の内部となる ( 含まれる ) 。そして、内部となる場合は、この 3 角形データを消去する。また、判定される 3 角形の 3 つの頂点が、他方の内部及び外部の両方となる場合 ( またがる場合 ) は、3 角形の位相変形を行い、判定される 3 角形が他方の内部又は外部のどちらかになるようにする。

【 0 0 8 2 】

図 7 の ( 5 ) の例では、分割される前の 3 角形として、3 角形 A B C と D E F とが重なっている。これらが互いに他を分割しあうと、3 角形 A B C は、図 7 の ( 6 ) のように分割される。ここで、3 角形 C D E と C F D とは、3 角形 D E F に対して、内部となる部分と外部となる部分との両方がある。そこで、この 2 つの 3 角形が構成する 4 角形 C F D E において、その対角線となる辺 C D を E F と付け替え、新たな 3 角形 D E F と C F E とを生成する ( 図 7 の ( 7 ) ) 。これが 3 角形の位相変形である。これを繰り返すことにより、最終的に、3 角形は他方の 3 角形の内部か外部かのどちらか一方となり、内部及び外部の両方にまたがる場合は、存在しなくなる。

【 0 0 8 3 】

一方、分割された 3 角形が、他方の分割される前の 3 角形の外部となる場合は、次の分割された 3 角形データに処理を進め、以上の処理を、すべての分割された 3 角形データに関して行う。最後に、消去された 3 角形に隣接する 3 角形データを相互に接続する処理 ( 接続情報の更新処理 ) を行う。以上の処理を、同一平面上且つ面の向きが逆となる実 3 角形データのすべてのペアにおいて行う。これにより、すべての重なり 3 角形 ( 面のしわ )

10

20

30

40

50

を消去することができる。

【 0 0 8 4 】

一方、反転境界面処理部 7 3 は、反転境界面を検出して除去する反転境界面検出除去処理を実行し、同じ立体を構成する面同士が交差している立体を検出して除去する。具体的には、反転境界面処理部 7 3 は、自己干渉立体を分離し、立体の最上位の 3 角形面を探索し、立体の最近傍上位立体を探索し、最近傍上位立体順に立体をソーティングし、面の向きにより立体を消去する。

【 0 0 8 5 】

図 8 は、矛盾立体の一例を示す模式図である。図 8 の ( 1 ) に示す立体の頂点データの変動により、図 8 の ( 2 ) に示すように、底面 ( 頂点 A ) が上面を突き抜けること ( 交差 ) が起こり得る。突き抜けた部分 ( 図 8 の ( 2 ) のハッチング部分 ) は、面の表裏が逆になる。反転境界面とは、このように面の表裏が反転している矛盾境界面である。この境界面を構成する 3 角形は、上記 3 角形の位置関係のうち、( 2 ) 交差又は ( 3 ) 線接触のどちらかとなる。反転境界面処理部 7 3 は、図 8 の ( 2 ) に示すように、この自己交差する境界面の交線を求め、図 8 の ( 3 ) に示すように、この交線により境界面を分割分離し、図 8 の ( 4 ) に示すように、反転境界面 ( 矛盾立体 ) を消去する。

【 0 0 8 6 】

上記の反転境界面の検出除去処理は、自己干渉立体の分離処理、立体の最上位 3 角形の探索処理、立体の最近傍上位立体の探索処理、最近傍上位立体順に立体データのソーティング、面の向きによる立体の消去処理の順で行われる。

【 0 0 8 7 】

図 9 は、矛盾立体を説明するための模式図であり、立体の断面図を示しており、ハッチング領域が形状の内部である。図 9 の ( 1 ) では、立体の一部で表裏が反転 ( 逆転 ) し、反転境界面が発生している。そこで、図 9 の ( 2 ) に示すように、この部分を切り離す処理が分離処理となる。また、図 9 の ( 3 ) では、立体の内部にある穴が外部にはみ出している。そこで、図 9 の ( 4 ) に示すように、このはみ出し部分を分離する。ここで、自己干渉立体とは、図 9 の ( 1 )、( 3 ) に示すように、同じ立体を構成する面 ( 3 角形面 ) どうしが交差している立体である。自己干渉立体の分離処理では、図 9 の ( 2 )、( 4 ) に示すように、この交差している面 ( 3 角形面 ) をその交線において分割し、1 つの閉じた面 ( 立体 ) とする処理である。

【 0 0 8 8 】

自己干渉立体の分離処理として、まず、2 つの実 3 角形データ  $t_i$  ,  $t_j$  (  $i = 1, 2, \dots$  ,  $j = 1, 2, \dots$  ) を無誤差幾何データ記憶部 4 から順次取り出し、両者の交差判定処理を行う。交差する場合は、両方の 3 角形  $t_i$  ,  $t_j$  の共通交線  $s_k$  (  $k = 1, 2, \dots$  ) を求めて、この共通交線において両者を分割する。

【 0 0 8 9 】

図 9 の ( 5 ) の例では、交線  $AB$  において、3 角形  $t_i$  と  $t_j$  とが交差している。このとき、共通交線  $s_k$  は  $CD$  となる。本実施形態では、重なり 3 角形検出除去処理において説明したように、不必要な分割をなくすために、ゼロ 3 角形分割を行う。ここでの分割パターンは、図 9 の ( 6 ) に示すように、2 通りとなる。共通交線  $CD$  において、その端点  $C$  側は 3 角形の辺上となり、ゼロ 3 角形分割が行われ、3 角形  $ECG$  はゼロ 3 角形となる。もう一方の端点  $D$  は、3 角形面内となり、通常の分割が行われる。

【 0 0 9 0 】

そして、この分割処理において、共通交線と一致する 3 角形の辺が存在しない場合は、重なり 3 角形検出除去処理において説明した位相変形を行い、共通交線と一致する 3 角形の辺を生成する。以上の処理をすべての実 3 角形データのペアに関して繰り返す。

【 0 0 9 1 】

次に、この交線  $s_k$  を挟んで隣接する 3 角形の隣接情報を変更する。この処理をすべての交線データ  $s_k$  に関して行う。これにより、自己干渉立体を分離することができる。図 1 0 及び図 1 1 は、自己干渉立体の分離処理において求めた共通交線  $s_k$  近傍の面の交差

10

20

30

40

50



パターンを示す模式図である。これらは立体の断面図であり、黒点は共通交線を示し、ハッチングがある側が立体の内部である。

【 0 0 9 2 】

図 1 0 の ( 1 ) では、面 ( 3 角形面 )  $t_a$  と  $t_b$  とが完全に交差している。この場合は当然両者の面の接続関係を共通交線において切り替える。図 1 0 の ( 2 ) の場合は、両者の面が形状の内側 ( 内部 ) において接している場合である。この場合も、接続関係を切り替える。図 1 0 の ( 3 ) の場合は、両者の面が形状の外側 ( 外部 ) において接している場合である。この場合は、接続関係は切り替えず、そのままとする。図 1 0 の ( 4 ) は、両者の面が接し、且つ面の向きが同じとなる場合である。この場合も、接続関係は切り替えない。

10

【 0 0 9 3 】

図 1 1 の ( 1 ) 、 ( 2 ) は、面 ( 3 角形面 )  $t_a$  と  $t_b$  とにおいて、同一平面となる部分がある場合である。このような場合は、面  $t_a$  が面  $t_b$  に対して内部となる場合のみ、接続関係を切り替える。したがって、図 1 1 の ( 1 ) の場合にのみ切り替え、図 1 1 の ( 2 ) の場合は、面  $t_a$  が面  $t_b$  に対して外部となるので、接続関係は切り替えない。ここでは、内部となる場合を切り替えるとしたが、この基準をまったく逆にして、外部となる場合を切り替えるとしても何ら問題はない。また、図 1 1 の ( 1 ) 、 ( 2 ) では、同一平面となる部分の面の向きが同じとなる場合を図示しているが、面の向きが逆となる場合も勿論存在する。しかし、このような場合は、重なり 3 角形の検出除去処理 ( 同一平面且つ面の向きが逆 ) において、検出及び除去されるので、ここでは対象外となる。

20

【 0 0 9 4 】

次に、最上位 3 角形の探索処理について説明する。最上位 3 角形とは、1 つの立体 ( 1 つの閉じた境界面 ) において、その立体を構成する 3 角形の中で、Z 座標値が最大となる頂点を持ち、且つ上面が存在しない 3 角形である。4 次元同次座標系において、頂点  $V_a = (X_a, Y_a, Z_a, w_a)$  の Z 座標値が  $V_b = (X_b, Y_b, Z_b, w_b)$  より大きいとは、以下の式 ( 1 5 ) が成り立つことである。

$$Z_a w_b > Z_b w_a \quad (w_a, w_b > 0) \quad (15)$$

また、3 角形  $F_{012}$  が 3 角形  $F_{345}$  に対して ( Z 座標軸に関して ) 上面になるとは、この 2 つの 3 角形  $F_{012}$  と  $F_{345}$  とが Z 座標軸方向からみて重なり、且つ 3 角形  $F_{012}$  の 3 つの頂点  $V_0 = (X_0, Y_0, Z_0, w_0)$ 、 $V_1 = (X_1, Y_1, Z_1, w_1)$  及び  $V_2 = (X_2, Y_2, Z_2, w_2)$  において、以下の式 ( 1 6 a ) 又は ( 1 6 b ) が成り立つことである。ただし、3 角形  $F_{012}$  と  $F_{345}$  は交差しないとする。

30

$$(0 < s_0) \quad (0 < s_1) \quad (0 < s_2) \quad (0 < C_{345}) \quad (16a)$$

$$(s_0 < 0) \quad (s_1 < 0) \quad (s_2 < 0) \quad (C_{345} < 0) \quad (16b)$$

ここで、 $s_0$  等は、下式で与えられる。

$$s_0 = V_0 F_{345} = X_0 A_{345} + Y_0 B_{345} + Z_0 C_{345} + w_0 D_{345} \quad (17a)$$

$$s_1 = V_1 F_{345} = X_1 A_{345} + Y_1 B_{345} + Z_1 C_{345} + w_1 D_{345} \quad (17b)$$

$$s_2 = V_2 F_{345} = X_2 A_{345} + Y_2 B_{345} + Z_2 C_{345} + w_2 D_{345} \quad (17c)$$

40

さらに、2 つの 3 角形が、Z 座標軸方向からみて、重なるかどうかの判定処理に関して説明する。4 次元同次座標系 ( X , Y , Z , w ) において、Z 座標を無視した 3 次元同次座標系 ( X , Y , w ) を想定する。この座標系における 3 角形の重なり判定処理に帰着することができる。この処理は、3 角形の頂点と、方向を持った辺との位置関係判定処理 ( 判定処理 ) に帰着する。

【 0 0 9 5 】

次に、最上位 3 角形を求める処理について説明する。まず、最上位頂点  $V_{max}$  に適当な初期値 ( 例えば、存在する頂点データ ) を代入する。次に、無誤差幾何データ記憶部 4 から、処理対象となる 1 つの立体を構成する実 3 角形データを順次読み出し、さらにその

50

実3角形を構成する3つの頂点データ $v_0$ 、 $v_1$ 、 $v_2$ を読み出して比較し、Z座標値が最大となる頂点データ $V$ を求める。

【0096】

次に、この頂点データ $V$ と最上位頂点データ $V_{max}$ のZ座標値を比較し、 $V$ が大きい場合は、 $V_{max} = V$ とする。以上の処理を、処理対象立体のすべての実3角形データに関して行う。以上の処理により、処理対象立体において、Z座標値が最大となる最上位頂点 $V_{max}$ が求まる。

【0097】

次に、最上位3角形 $T_{max}$ と基準3角形 $T_{base}$ に適切な初期値を代入する。例えば、処理対象立体において、最上位頂点 $V_{max}$ を頂点に持つ適当な実3角形データを両者に代入する。そして、処理対象立体において、この最上位頂点 $V_{max}$ を頂点に持つ実3角形データ $t_i$ を無誤差幾何データ記憶部4から順次取り出す。

【0098】

次に、この3角形 $t_i$ と $T_{base}$ とがZ座標軸方向からみて重なるかどうかの判定を行う。重なる場合は、この3角形 $t_i$ と $T_{max}$ とがZ座標軸方向からみて重なるかどうかの判定を行う。重なる場合は、3角形 $t_i$ と $T_{max}$ との位置関係をチェックする。3角形 $t_i$ が $T_{max}$ の上面となる場合( $T_{max} < t_i$ )は、 $T_{max} = t_i$ とする。以上の処理をすべての実3角形データ $t_i$ に関して行う。これにより、最上位3角形 $T_{max}$ が求まる。

【0099】

次に、最近傍上位立体について説明する。図12は、最近傍上位立体を説明するための模式図である。ある立体 $b_i$ の最近傍上位立体 $b_{near}$ とは、以下の条件を満たす立体のことであり(図12参照)、最近傍上位立体とは、ある立体(1つの閉じた境界面)に、Z座標軸正方向に最も近い立体のことである。

(1) 立体 $b_i$ の最上位頂点 $V_{max} = (X_{max}, Y_{max}, Z_{max}, w_{max})$ にZ座標軸と平行に正方向に立てた半直線と交差又は接する立体。

(2) この交点又は接点を $V_{near} = (X_{near}, Y_{near}, Z_{near}, w_{near})$ とすると、 $V_{near}$ は、頂点 $V_{max} = (X_{max}, Y_{max}, Z_{max}, w_{max})$ に最近傍となる立体。(ここで、 $V_{near}$ を最近傍上位点と呼ぶことにする。)

(3) Z座標軸方向から見て、立体 $b_i$ の最上位3角形 $T_{max}$ と重なる上面 $T_{near}$ を持つ立体。

(4) 上記上面 $T_{near}$ が複数個ある場合は、その中で最も下面となる面を持つ立体。(ここで、下面とは、3角形 $t_2$ が3角形 $t_3$ の上面となる場合、逆に $t_3$ は $t_2$ に対して下面となる(図12参照)。また、この最も下面となる面 $T_{near}$ を最近傍上位3角形と呼ぶことにする。)

図12の例では、立体の断面図を示しており、立体 $b_0$ の最上位頂点は $V_{max} = v_0$ 、最上位3角形は $T_{max} = t_1$ である。立体 $b_1$ は、半直線 $L$ と接し、且つ最近傍頂点 $v_1$ を持つが、 $T_{max}$ と重なる面が存在しない。そこで、立体 $b_1$ は、立体 $b_0$ の最近傍上位立体ではない。

【0100】

一方、立体 $b_2$ は、半直線 $L$ と接し、且つ(立体 $b_1$ は対象外となるので)最近傍上位点(頂点) $v_2$ を持ち、且つ最上位3角形 $T_{max}$ と重なる面 $t_3$ が存在する。そこで、立体 $b_2$ が、立体 $b_0$ の最近傍上位立体となる。ここで、最上位3角形 $T_{max}$ と重なる面は $t_2$ と $t_3$ との2つが存在するが、両者を比較すると、 $t_3$ が $t_2$ の下面となるので、 $t_3$ が最近傍上位3角形 $T_{near}$ となる。

【0101】

次に、最近傍上位立体を求める処理について説明する。ここでは、立体 $b_i$ の最近傍上位立体 $b_{near}$ を求める。まず、立体 $b_i$ の最上位頂点 $V_{max}$ を通るZ座標軸と平行な直線 $L$ を求める。そして、 $T_{near}$ にNULLを設定して初期設定を行う。NULLは「値なし」(該当データなし)を意味する。また、最近傍上位頂点 $V_{near}$ には、Z

10

20

30

40

50

座標値に適当な大きな値、 $X$ 、 $Y$ 、 $w$ 座標値に $V_{max}$ と同じ値を代入することにより初期設定を行う。

【0102】

次に、立体 $b_i$ とは異なる他の立体の実3角形データ $t_j$ を無誤差幾何データ記憶部4から順次読み込む。そして、この $t_j$ と直線 $L$ との交点 $V_s$ が存在するかどうかを判定し、存在する場合は $V_s$ を求める。交点 $V_s$ が存在する場合は、 $V_{max}$ と $V_s$ の $Z$ 座標値を比較する。 $V_s$ の $Z$ 座標値が $V_{max}$ の $Z$ 座標値より小さい場合( $V_s < V_{max}$ )は、次の実3角形データに処理を移す。逆に、 $V_{max} > V_s$ となる場合は、この3角形 $t_j$ と $T_{max}$ が $Z$ 座標軸方向からみて重なるかどうかの判定処理、及び頂点データを比較して $t_j$ が $T_{max}$ の上面となるかどうか( $T_{max} > t_j$ )の判定処理を行う。

10

【0103】

$t_j$ と $T_{max}$ とが $Z$ 座標軸方向からみて重なり、且つ $t_j$ が $T_{max}$ の上面となる場合( $T_{max} > t_j$ )は、 $V_s$ と $V_{near}$ とを比較し、 $V_{near} < V_s$ となる場合は、次の実3角形データに処理を移す。 $V_s < V_{near}$ となる場合は、 $V_{near} = V_s$ 、 $T_{near} = t_j$ とする。

【0104】

一方、 $V_s = V_{near}$ となる場合は、3角形 $t_j$ と $T_{near}$ とが $Z$ 座標軸方向からみて重なるかどうかの判定処理、及び頂点データを比較して $t_j$ が $T_{near}$ の下面となるかどうか( $t_j < T_{near}$ )の判定処理を行う。 $t_j$ と $T_{near}$ とが $Z$ 座標軸方向からみて重なり、且つ $t_j$ が $T_{near}$ の下面となる場合( $t_j < T_{near}$ )は、 $V_{near} = V_s$ 、 $T_{near} = t_j$ とする。

20

【0105】

以上の処理を、立体 $b_i$ 以外のすべての実3角形データに関して行う。以上の処理により、最近傍上位頂点 $V_{near}$ 、最近傍上位3角形 $T_{near}$ が求まる。そして、立体 $b_i$ の最近傍上位立体 $b_{near} = T_{near}$ が属する立体として求まる。

【0106】

次に、最近傍上位立体順に立体データをソーティングする処理について説明する。最近傍上位立体順に立体データ $b_i$ をソーティング処理するとは、立体データ(幾何図形データの集合体(実3角形データ又はゼロ3角形データの集合体)) $b_i$ と $b_j$ ( $i < j$ )において、 $b_i$ の最近傍上位立体 $b_{near}$ が $b_j$ となる場合は、両者のデータの順番を入れ替えることである。ここでは、 $b_i$ が $b_j$ よりもデータの先頭にある( $i < j$ )ので、 $b_i$ と $b_j$ とのデータ順を入れ替え、 $b_j$ が $b_i$ よりもデータの先頭となるようにする。この処理により、ある立体 $b_i$ の最近傍上位立体データ $b_{near}$ は、必ず立体データ $b_i$ よりも上位となる(先頭となる)。図12の例では、立体データの順番は上位から、 $b_3$ 、 $b_2$ 、 $b_1$ 、 $b_0$ の順番となる。

30

【0107】

次に、面の向きによる立体の消去処理について説明する。面の向きによる立体の消去処理とは、ある立体の面の表裏が最近傍上位立体との関係で矛盾する場合は、この矛盾する立体データの消去を行う処理である。

【0108】

図13は、面の向きと矛盾立体との関係を説明するための模式図である。図13は、立体の断面図を表しており、ハッチングのある側が立体(形状)の内部、ハッチングのない側が立体の外部を表現している。言い換えれば、矢印の向きが立体の内部を表している。

40

【0109】

図13の(1)、(2)の場合は、立体Aにおいて、最近傍上位立体がない場合である。このような場合は、立体Aの最上位面(最上位3角形)の $Z$ 軸方向の向きを用いて判定を行う。図13では、立体Aにおける矢印はすべて、立体Aの最上位3角形(面)の $Z$ 軸方向の向きを表している。

【0110】

図13の(1)では、立体Aの最上位3角形の $Z$ 軸方向の向きはマイナスとなっている

50

。このような場合は、立体Aは矛盾立体ではないので、消去されない。一方、図13の(2)では、立体Aの最上位3角形のZ軸方向の向きはプラスとなっている。このような場合は、立体Aは矛盾立体となる(境界面の裏表が反転し空間全体に立体の内部が広がっている)ので、消去される。

#### 【0111】

図13の(3)~(6)の場合は、立体Aの最近傍上位立体が存在する場合である。ここでは、立体Bが立体Aの最近傍上位立体となる。また、立体Bにおける矢印はすべて、立体Aに対する最近傍上位3角形(面)のZ軸方向の向きを表している。図13の(3)~(6)の場合は、立体Aの最上位3角形と、立体Aに対する(立体Bに属する)最近傍上位3角形のZ軸方向における向きの組み合わせをチェックする。図13の(3)、(6)に示すように、両者のZ軸方向の向きが逆となる場合は、立体Aは立体Bに対して無矛盾立体となる。そこで、このような場合は、立体Aは消去されない。一方、図13の(4)、(5)の場合は、両者のZ軸方向の向きが同じとなる。境界面Aは境界面Bに対して面の裏表が反転している。このような場合は、立体Aは立体Bに対して矛盾立体となる。そこで、このような場合は、立体Aは消去される。

10

#### 【0112】

次に、面の向きによる立体の消去処理について具体的に説明する。ここでは、立体データ $b_i$ の幾何矛盾チェックを、データ順に(データの先頭から)行う。まず、初期処理として、すべての立体データの消去フラグをすべてOFFにする。ここで、OFFは消去しない(無矛盾立体である)ことを意味する。そして、立体 $b = b_i$  ( $i = 1, 2, \dots$ )とし、次に、立体 $b$ の最近傍上位立体 $b_{near}$ が存在するかをチェックする。

20

#### 【0113】

立体 $b$ の最近傍上位立体 $b_{near}$ が存在しない場合は、立体 $b$ の最上位3角形 $T_{max}$ のZ座標軸方向の向きをチェックする。Z座標軸方向の向きが正の場合は幾何矛盾となるので、立体データ $b$ の消去フラグをON(消去を意味する)とし、負の場合は幾何矛盾とならないので、立体データ $b$ の消去フラグをOFFのままとする。ここでの処理は、図13の(1)、(2)の場合に対応している。

#### 【0114】

一方、立体 $b$ の最近傍上位立体 $b_{near}$ が存在する場合は、 $b_{near}$ の消去フラグがONかOFFかのチェックを行う。消去フラグがONの場合は、この最近傍上位立体 $b_{near}$ は矛盾立体であり消去されるので、さらに上位(データの先頭側)の消去フラグがOFFとなっている無矛盾立体である最近傍上位立体を探す。

30

#### 【0115】

消去フラグがOFFとなっている最近傍上位立体 $b_{near}$ が存在する場合は、この $b_{near}$ の最近傍上位3角形 $T_{near}$ と、立体 $b$ の最上位3角形 $T_{max}$ のZ座標軸方向の向きの組み合わせをチェックする。 $T_{near}$ と $T_{max}$ のZ座標軸方向の面の向きの組み合わせが同じとなる場合は(図13の(4)、(5)の場合)、立体 $b$ は矛盾立体となるので、立体 $b$ の消去フラグをONとする。面の向きの組み合わせが逆となる場合は(図13の(3)、(6)の場合)、立体 $b$ は矛盾しないので、消去フラグはOFFのままとする。そして、次の立体に処理を移す。

40

#### 【0116】

以上の処理をすべての立体データ $b_i$ に関して行うことにより、すべての立体の幾何矛盾チェックが完了し、その結果として、消去フラグの値(ON又はOFF)が確定する。最後に、消去フラグがONとなっているすべての立体データを無誤差幾何データ記憶部4から消去する。これにより、すべての矛盾立体が消去され、無矛盾立体だけが保存される。上記の幾何無矛盾化処理としては、特願2004-004690号「3次元幾何データの無矛盾化方法及びそのシステム」に記載される幾何無矛盾化処理を用いることができるので、さらに詳細な説明は省略する。

#### 【0117】

本実施の形態では、誤差幾何データ記憶部2が誤差記憶手段の一例に相当し、無誤差幾

50

何データ記憶部 4 が無誤差記憶手段の一例に相当し、誤差幾何処理部 3 が誤差演算手段の一例に相当し、データ変換処理部 6 2 が変換手段の一例に相当し、幾何無矛盾化処理部 7、4 次元同次座標系幾何処理部 5 2 及び可変長ビット整数演算器 5 3 が除去手段の一例に相当する。また、無誤差幾何処理部 5 が無誤差演算手段の一例に相当し、数値データ切り捨て処理部 6 1 が切り捨て手段の一例に相当し、退化 3 角形処理部 7 1 が退化 3 角形検出除去手段の一例に相当し、重なり 3 角形処理部 7 2 が重なり面検出除去手段の一例に相当し、反転境界面処理部 7 3 が反転境界面検出除去手段の一例に相当する。

【 0 1 1 8 】

次に、上記のように構成された幾何図形データ処理装置による幾何図形データ処理について説明する。図 1 4 は、図 1 に示す幾何図形データ処理装置による幾何図形データ処理を説明するためのフローチャートである。

10

【 0 1 1 9 】

図 1 4 に示すように、まず、ステップ S 1 1 において、外部インターフェース部 1 は、外部システム 8 から出力される幾何図形データを読み込み、誤差幾何（浮動小数点）データの場合は、誤差幾何データ記憶部 2 に記憶させ、無誤差幾何（整数）データの場合は、無誤差幾何データ記憶部 4 に記憶させる。

【 0 1 2 0 】

次に、ステップ S 1 2 において、数値データ切り捨て処理部 6 1 は、幾何図形データが誤差幾何データの場合は、誤差幾何データ記憶部 2 の頂点データ記憶部 2 2 から頂点データを順次読み出し、予め設定されている要求桁数に従って頂点データの桁数を切り捨て、頂点データ記憶部 2 2 に再び格納し、幾何図形データが無誤差幾何データの場合は、無誤差幾何データ記憶部 4 の同次頂点データ記憶部 4 2 から頂点データを順次読み出し、予め設定されている要求桁数に従って頂点データの桁数を切り捨て、同次頂点データ記憶部 4 2 に再び格納する。

20

【 0 1 2 1 】

次に、ステップ S 1 3 において、外部インターフェース部 1 は、外部システム 8 からの指示に応じて、入力された幾何データに対して無誤差幾何処理を行うか又は誤差幾何処理を行うか、若しくは幾何図形データ処理が終了したかを判断し、無誤差幾何処理を行う場合はステップ S 1 4 へ処理を移行し、誤差幾何処理を行う場合はステップ S 2 4 へ処理を移行し、幾何図形データ処理を終了する場合はステップ S 2 8 へ処理を移行する。

30

【 0 1 2 2 】

無誤差幾何処理を行う場合、ステップ S 1 4 において、無誤差幾何処理部 5 は、無誤差幾何データ記憶部 4 に無誤差幾何データが存在するか否かをチェックし、無誤差幾何データが存在しない場合はステップ S 1 5 へ処理を移行し、無誤差幾何データが存在する場合はステップ S 2 0 へ処理を移行する。

【 0 1 2 3 】

無誤差幾何データが存在しない場合、ステップ S 1 5 において、データ変換処理部 6 2 は、誤差幾何データ記憶部 2 から誤差幾何データを順次読み出し、ユークリッド座標から同次座標への変換及び浮動小数点データから整数データへの変換を行い、無誤差幾何データを無誤差幾何データ記憶部 4 に格納させる。次に、ステップ S 1 6 において、データ変換処理部 6 2 は、変換した誤差幾何データ（元データ）を誤差幾何データ記憶部 2 から消去する。

40

【 0 1 2 4 】

次に、ステップ S 1 7 において、幾何無矛盾化処理部 7 は、上記のデータ変換処理により幾何矛盾が発生している可能性があるため、幾何無矛盾化処理を行う。すなわち、幾何無矛盾化処理部 7 は、変換された無誤差幾何データを無誤差幾何データ記憶部 4 から順次読み出し、退化 3 角形処理部 7 1、重なり 3 角形処理部 7 2 及び反転境界面処理部 7 3 による幾何無矛盾化処理を実行し、無矛盾となった無誤差幾何データを無誤差幾何データ記憶部 4 に再び格納する。

【 0 1 2 5 】

50

次に、ステップS 18において、数値データ切り捨て処理部61は、無矛盾となった無誤差幾何データである頂点データの数値桁数が増加したか否かを判断し、頂点データの数値桁数が増加していない場合は、ステップS 20へ処理を移行し、頂点データの数値桁数が増加した場合は、ステップS 19へ処理を移行する。

【0126】

頂点データの数値桁数が増加した場合、ステップS 19において、数値データ切り捨て処理部61は、同次頂点データ記憶部42から頂点データを順次読み出し、予め設定されている要求桁数に従って頂点データの桁数を切り捨て、同次頂点データ記憶部42に再び格納し、その後、ステップS 17以降の処理を繰り返す。すなわち、幾何無矛盾化処理により頂点データの数値桁数が増大した場合は、数値データ切り捨て処理部61による頂点データの切り捨て処理（ステップS 19）が行われ、この切り捨て処理が行われると、幾何矛盾が発生する場合があるので、幾何無矛盾化処理部7による幾何無矛盾化処理（ステップS 17）が再度行われ、頂点データの数値桁数が増大しなくなるまで幾何無矛盾化処理が繰り返される。

10

【0127】

無誤差幾何データが存在する場合（ステップS 14でYES）又は頂点データの数値桁数が増加していない場合（ステップS 18でNO）、ステップS 20において、無誤差幾何処理部5は、無矛盾の無誤差幾何データを無誤差幾何データ記憶部4から順次読み出して集合演算等の無誤差幾何処理（可変長整数演算）を無誤差で実行し、その結果としての無誤差幾何データを無誤差幾何データ記憶部4に再び格納する。

20

【0128】

上記の無誤差幾何処理が行われると、頂点データの数値桁数が増大する場合があるので、次に、ステップS 21において、数値データ切り捨て処理部61は、格納された無誤差幾何データである頂点データの数値桁数が増加したか否かを判断し、頂点データの数値桁数が増加していない場合は、ステップS 13へ処理を移行して以降の処理を継続し、頂点データの数値桁数が増加した場合は、ステップS 22へ処理を移行する。

【0129】

頂点データの数値桁数が増加した場合、ステップS 22において、数値データ切り捨て処理部61は、ステップS 19と同様に、同次頂点データ記憶部42から頂点データを順次読み出し、予め設定されている要求桁数に従って頂点データの桁数を切り捨て、同次頂点データ記憶部42に再び格納する。

30

【0130】

次に、ステップS 23において、幾何無矛盾化処理部7は、上記の桁数の切り捨て処理により幾何矛盾が発生している可能性があるため、ステップS 17と同様に、幾何無矛盾化処理を行い、その後、頂点データの数値桁数が増大しなくなる（幾何矛盾がなくなる）まで、ステップS 21以降の処理を繰り返す。上記のステップS 14～S 23の処理が、幾何無矛盾化処理等を含む無誤差幾何処理の全体の流れである。

【0131】

一方、ステップS 13において、誤差幾何処理が選択された場合、以下の誤差幾何処理が実行される。まず、ステップS 24において、誤差幾何処理部3は、誤差幾何データ記憶部2に誤差幾何データが存在するか否かをチェックし、誤差幾何データが存在しない場合はステップS 25へ処理を移行し、誤差幾何データが存在する場合はステップS 27へ処理を移行する。

40

【0132】

誤差幾何データが存在しない場合、ステップS 25において、データ変換処理部62は、無誤差幾何データ記憶部4から無誤差幾何データを順次読み出し、同次座標からユークリッド座標への変換及び整数データから浮動小数点データへの変換を行い、誤差幾何データを誤差幾何データ記憶部2に格納させる。次に、ステップS 26において、データ変換処理部62は、変換した無誤差幾何データ（元データ）を無誤差幾何データ記憶部4から消去する。

50

## 【0133】

誤差幾何データが存在する場合（ステップS24でYES）又はステップS26の処理後、ステップS27において、誤差幾何処理部3は、誤差幾何データを誤差幾何データ記憶部2から順次読み出し、座標変換等の誤差幾何処理（浮動小数点演算）を実行し、その結果としての誤差幾何データを誤差幾何データ記憶部2に再び格納し、その後、ステップS13へ処理を移行して以降の処理を継続する。以上のステップS24～S27が、誤差幾何処理の全体の流れである。

## 【0134】

このように、誤差幾何処理が終了した後、処理がステップS13へ戻され、誤差幾何処理が実行された誤差幾何データは、上記のステップS14～S23の無誤差幾何処理において、無誤差幾何処理をベースにした幾何無矛盾化処理によりその幾何矛盾が除去されるとともに、その桁数が切り捨て処理により必要精度に応じて切り捨てられるので、無誤差幾何データに対して無誤差幾何処理する場合だけでなく、誤差幾何データに対して誤差幾何処理する場合も、幾何矛盾を取り除くことができ、矛盾のない幾何図形データを生成して安定的な処理系を実現することができる。

10

## 【0135】

なお、誤差幾何処理における幾何無矛盾化処理は、無誤差幾何処理の場合のようによっても行われる訳ではなく、適宜行われる。以下、誤差幾何処理における幾何無矛盾化処理の流れに関して説明する。まず、無誤差幾何処理がNULL（何も処理をしない）とセットされた後、ステップS14～S23の無誤差幾何処理が行われる。次に、誤差幾何処理においてもNULLとセットされた後、ステップS24～S27の誤差幾何処理が行われる。これにより、誤差幾何処理における幾何無矛盾化処理が完了したことになる。すなわち、幾何矛盾が生じていない誤差（浮動小数点）幾何データが生成されたことになる。ただし、ここでの前提は、ステップS25の無誤差幾何データから誤差幾何データへのデータ変換処理において、変換誤差（桁落ち）が発生しないことである。

20

## 【0136】

最後に、幾何図形データ処理を終了する場合（ステップS28で終了が選択された場合）、外部インターフェース部1は、演算結果が誤差幾何（浮動小数点）データの場合、誤差幾何データ記憶部2から誤差幾何データを読み出し、演算結果が無誤差幾何（整数）データの場合、無誤差幾何データ記憶部4から無誤差幾何データを読み出し、外部システム8へ転送する。

30

## 【0137】

上記の処理により、本実施の形態では、誤差演算処理を実行された誤差幾何データを無誤差幾何データへ変換し、変換された無誤差幾何データに対して発生する幾何矛盾を検出して除去しているため、適用できる幾何処理の範囲が非常に広い誤差演算処理を用いることができるとともに、誤差演算処理における誤差により発生する幾何矛盾を、無誤差幾何処理をベースにした幾何無矛盾化処理により取り除くことができ、矛盾のない幾何図形データを生成して安定的な処理系を実現することができる。

## 【0138】

なお、上記の説明では、誤差幾何データに対する切り捨て処理を、無誤差幾何処理の中で行っているが、この例に特に限定されず、誤差幾何処理（ステップS27）の実行後等の誤差幾何処理の中で行い、幾何無矛盾化処理のみを無誤差幾何処理の中で行うようにしてもよい。

40

## 【0139】

また、本実施の形態では、スタンドアロン型の幾何図形データ処理装置を用いているが、この例に特に限定されず、インターネット等のネットワークを介して接続されるクライアント装置及びサーバ装置から構成するようにしてもよい。

## 【0140】

また、本実施の形態では、4次元同次座標系幾何処理を用いたが、同次座標幾何処理として、他の次元の同次座標幾何処理を用いてもよい。

50

## 【図面の簡単な説明】

## 【0141】

【図1】本発明の一実施の形態による幾何図形データ処理装置の構成を示すブロック図である。

【図2】ゼロ3角形及び超3角形幾何処理を説明するための模式図である。

【図3】ユークリッド座標系及び同次座標系の座標データ及び数値データ並びに超3角形データのデータ構成の一例を示す図である。

【図4】退化3角形及びその除去処理を説明するための模式図である。

【図5】3角形相互の相対位置の変化により発生する2つの3角形の位置関係を説明するための模式図である。

10

【図6】重なり面の一例を示す模式図である。

【図7】重なり面検出除去処理を説明するための模式図である。

【図8】矛盾立体の一例を示す模式図である。

【図9】矛盾立体を説明するための模式図である。

【図10】自己干渉立体の分離処理において求めた共通交線s k近傍の面の交差パターンを示す模式図である。

【図11】自己干渉立体の分離処理において求めた共通交線s k近傍の面の交差パターンを示す模式図である。

【図12】最近傍上位立体を説明するための模式図である。

【図13】面の向きと矛盾立体との関係を説明するための模式図である。

20

【図14】図1に示す幾何図形データ処理装置による幾何図形データ処理を説明するためのフローチャートである。

## 【符号の説明】

## 【0142】

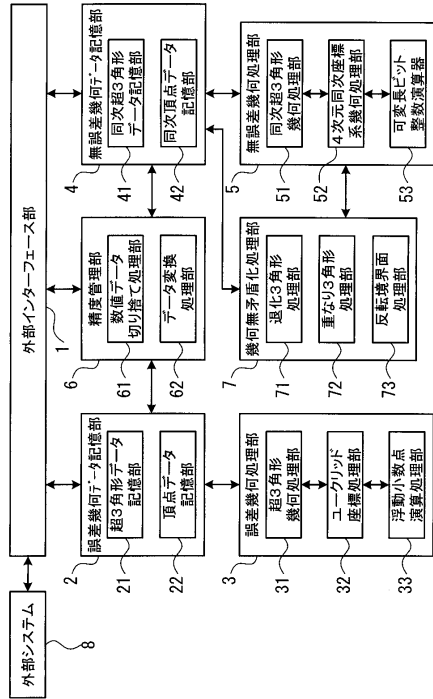
- 1 外部インターフェース部
- 2 誤差幾何データ記憶部
- 3 誤差幾何処理部
- 4 無誤差幾何データ記憶部
- 5 無誤差幾何処理部
- 6 精度管理部
- 7 幾何無矛盾化処理部
- 21 超3角形データ記憶部
- 22 頂点データ記憶部
- 31 超3角形幾何処理部
- 32 ユークリッド座標処理部
- 33 浮動小数点演算処理部
- 41 同次超3角形データ記憶部
- 42 同次頂点データ記憶部
- 51 同次超3角形幾何処理部
- 52 4次元同次座標系幾何処理部
- 53 可変長ビット整数演算器
- 61 数値データ切り捨て処理部
- 62 データ変換処理部
- 71 退化3角形処理部
- 72 重なり3角形処理部
- 73 反転境界面処理部

30

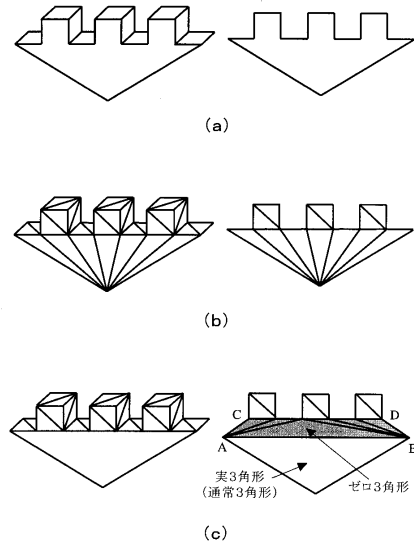
40



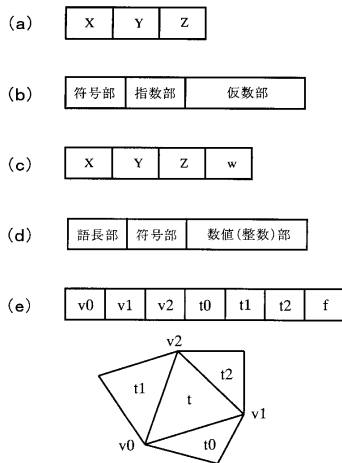
【図1】



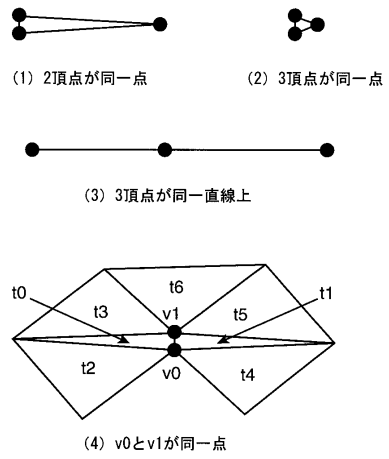
【図2】



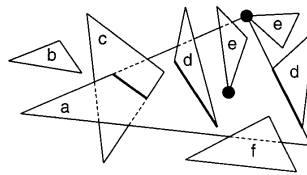
【図3】



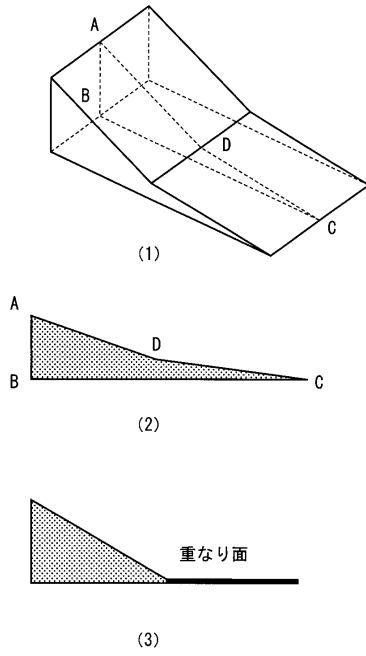
【図4】



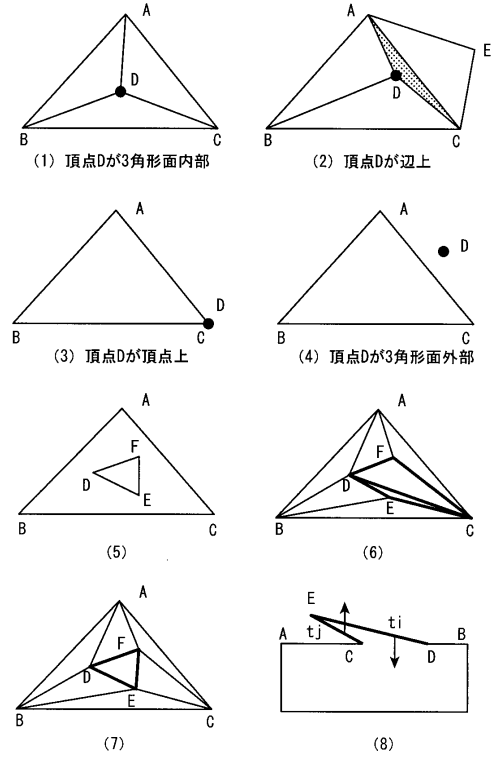
【図5】



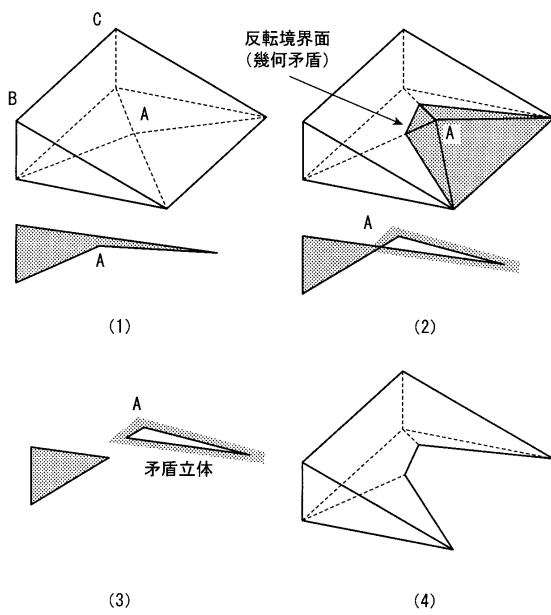
【 図 6 】



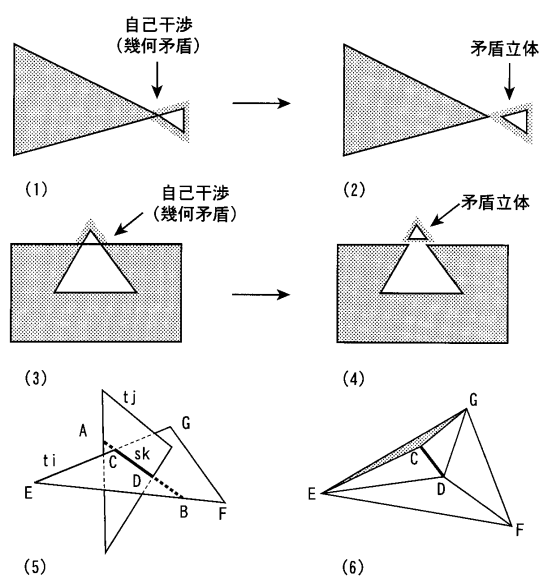
【 図 7 】



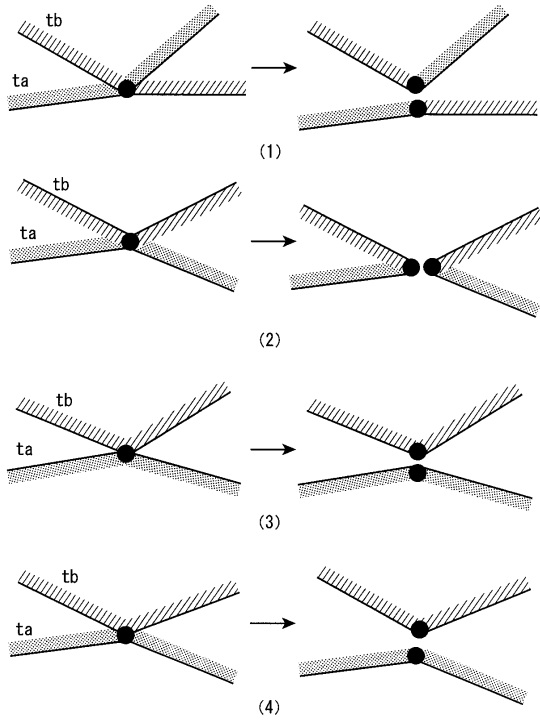
【 図 8 】



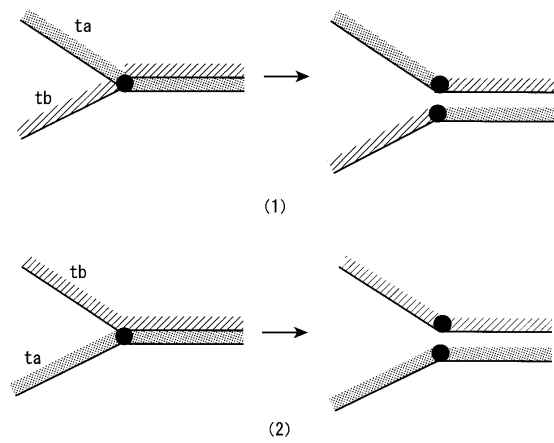
【 図 9 】



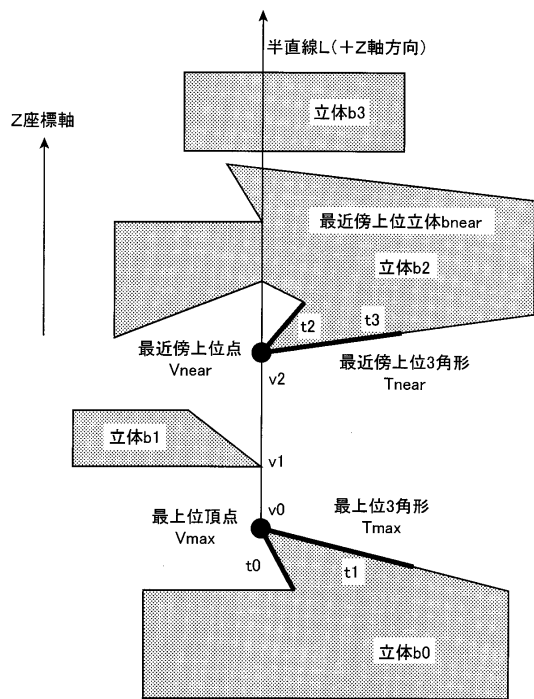
【図10】



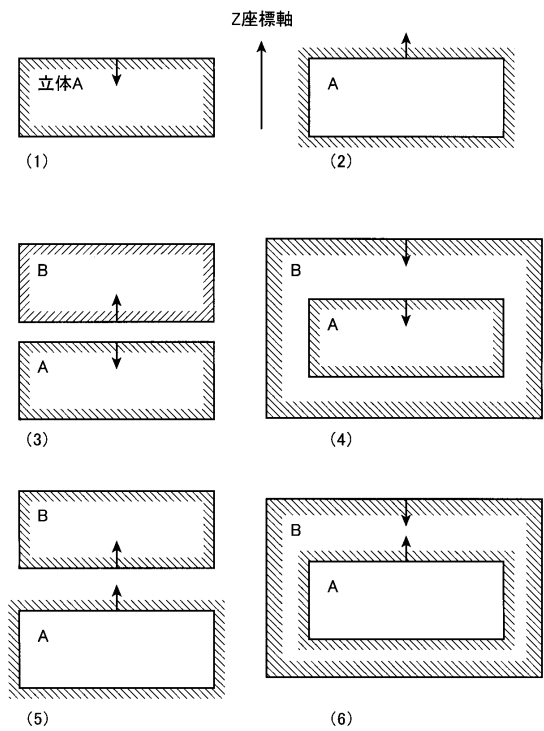
【図11】



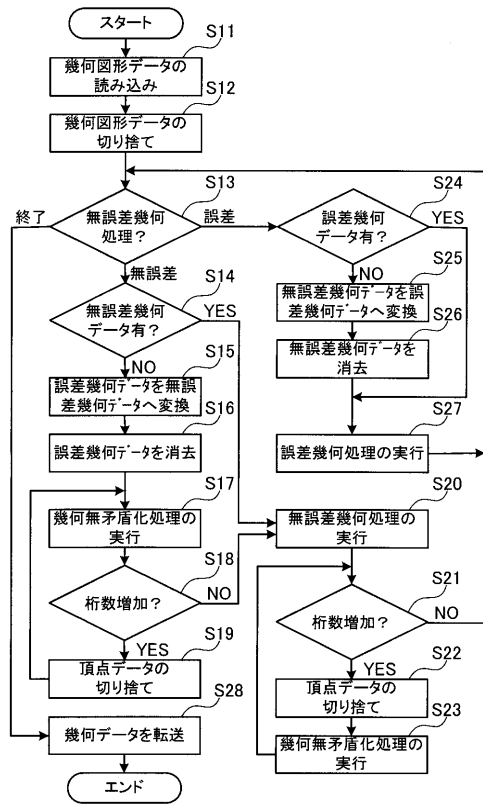
【図12】



【図13】



【図14】



---

フロントページの続き

(56)参考文献 特開2005-196684(JP, A)

荒川佳樹ほか, 無誤差4次元超3角形による幾何無矛盾化法 - 無誤差・無矛盾幾何コンピューティングを目指して -, 先進的計算基盤システムシンポジウム SAC SIS 2004 論文集, 日本, 社団法人情報処理学会, 2004年 5月26日, 215 - 224頁

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

G06T 15/00