

学 位 論 文 題 名

A Study on the Compatible Solid Modeling Scheme
for CAD/CAM and CG(CAD/CAM 及び CG のための
コンパチブルソリッド・モデリングスキームに関する研究)

学位論文内容の要旨

ソリッド・モデリングは CAD/CAM 及び CG の中核技術である。これまで、3 次元 CAD/CAM 及び CG システムでは形状モデリングの定義、表現及び操作にはそれぞれ独自の問題を抱えていた。共通の解決方法が現在でも存在しないため、CAD/CAM 及び CG システムのそれぞれの目的に応じて、様々なソリッド・モデリングシステムが開発されている。その結果、各システム間のデータの交換が困難な状況にあり、CAD/CAM 及び CG を一体化することで設計に役に立つモデリング方法が強く望まれている。

本研究は CAD/CAM 及び CG の分野においてソリッドオブジェクトを均一な表現形式で表すことを一つの重要な課題として取り上げ、構造的な離散表面点集合モデル (CDSPM) を提案している。CDSPM では、まず基本となる単純な形状から離散的な表面点の集合を評価し、抽出する。そしていくつかの離散点集合に対し新たな定義したブール集合演算の組を施すことによって目的の形状を構成する。ソリッド・モデリングの操作性をよくする為にはソリッドオブジェクトを粗い表現から精細な表現へ段階的に構成する方式を導入している。

次に、形状をソリッドモデルで表現する場合、しばしば表現の冗長性の問題が生じる。CSG モデリングではこの問題に対しこれまでいくつかの研究が行われているが、現状では一部の冗長性しか取り除くことはできない。この問題はレンダリングなどの諸処理の速度が低下する主な原因の一つであるため、本論文ではソリッドモデルの中に存在する冗長性を検討し、分類した上で、CDSPM モデルにおいて、可能な限り冗長性を取り除く手法を提案している。CAD の場合などではソリッドモデルのビジュアル効果を向上するために高速なレンダリングの実現が要求されるので、CDSPM モデルに基づく高速なレンダリング手法も本研究の課題の一つである。

本論文は全 6 章から構成される。

序論は本研究の背景とソリッドモデルシステムの発展過程を述べ、現存のシステムの問題点を指摘し、本研究の動機を述べている。

第 2 章では、現存の様々なソリッド・モデリングの代表的な二つのシステムである CSG と B-rep モデルを分析している。この分析に基づき、CAD/CAM と CG の間のギャップが存在する原因を明らかにした。このギャップを埋めるためには最も基本的な要素である表面点によって表現することでコンパチブルなモデルを求める方式を提案している。

第 3 章では、構造的な離散表面点モデル (CDSPM) の基本的な概念と構築方法について述べている。ソリッドオブジェクトは離散的な表面点で評価されている基本的な形状体の集合演算で定義されている。形状体の表面境界を表現する為に、ポイントペア (point pair) 集合とサンプル境界セグメント (sample boundary segment) と言う概念を導入している。基本形状も複合形状も同様の表現形式を持つポイントペアで表される。サンプルの密度は必要に応じて段階的に変更することが可能である。複雑な形状を複合する場合、重なっているサンプル境界セグメントから共通動作領域 (common acting area) を抽出し、複合体の幾何形状表面点集合 (GSP) を求めることができる。このような複合操作を実現するために新たなブール集合演算ルールを導入している。すべての演算は共通動作領域内のみで行う。

このように構成された CDSPM モデルは従来のソリッド・モデリング方法と異なり、集合演算と物体の境界評価を同時に行っている。CDSPM のモデルデータは CSG のような抽象的なツリー表現ではなく、一つの具体的な空間形状表面境界の粗い表現であるため、ワイヤー・フレーム表示や高度な陰影表示にも対応可能である。

一方、モデルデータの構造は規則正しいサンプル点で規正されているので、隣接の表面点を利用し、メッシュ (mesh) を簡単に作成できる。また、このようなデータのデータ構造は実際の加工製造 (CAM) と性能分析 (FEM) の基本的データ形式仕様を備えている。

第 4 章では、ソリッドモデル中の冗長なデータの削除の手法を述べている。冗長データの存在はシステム間のデータ交換の困難さとレンダリングコスト増加の主な原因である。本章では、冗長性をヌルプリミティブ (null primitive) とヌルブロック (null block) に分類し、それぞれの原因を究明した。複雑な形状体を定義する場合、定義の抽象性が原因で、設計者の入力データとプリミティブのロケーション (location) の正確さが保証できないので、ヌルプリミティブが発生する。通常、プリミティブの一部だけが結果オブジェクトに貢献する。しかし、結果の表面境界の評価をレンダリング前に独立に行わないために、ヌルブロックがいつもモデルデータに存

在している。この2種類の冗長性を取り除くため、二つの手法を設計した。第一の手法では、ユーザが対話的にプリミティブの複合位置を決められる環境を提供した。ユーザが二つのプリミティブの共通動作領域を保証すれば、ヌルプリミティブを防ぐことができる。第二の手法では、サンプルセグメントの共通の領域に対するポイントペア集合の記述について3章で定義したブール演算を行い、物体の境界の計算を行うことで、ヌルブロックを削去することができる。このようにして生成されたソリッドモデルは冗長性が無く高速な画像のレンダリングに適している。

第5章では、CDSPMに基づく新しいレンダリングのアルゴリズムについて述べている。この方法は逆投影と画素補間の手法によって離散表面点から効率的にイメージを生成するための手法である。逆投影する際、まず可視点の集合を求め、スクリーン上に対応する画素を求める。続いて、求められた画素の間にある画素に対して補間を行う。この補間はCDSPMに記録されているプリミティブのパラメータによって、正確に計算できる。この場合、一つの画素において最大でも二つのプリミティブとの交点計算で済む。また逆投影で得られた可視画素範囲以外の画素については光線追跡をする必要がない。

第6章では、本論文を総括し、将来における本論文のCDSPMの応用の可能性などを検討した。

学位論文審査の要旨

主査	教授	青木由直
副査	教授	宮本衛市
副査	教授	栃内香次
副査	教授	嘉数侑昇
副査	教授	岸浪建史
副査	助教授	川嶋稔夫

本論文は、互換性を重視したソリッドモデリングを、レンダリング性能や表現能力を低下させることなく実現するための手法について論じたものであり、いくつかの改善手法を提案するとともに、具体的なレンダリング手法を示している。本論文は以下に示す6章から構成されている。

第1章は序論であり、本研究の背景とソリッドモデルシステムの発展過程を述べ、現存のシス

テムの問題点を指摘し、本研究の動機を述べている。

第2章では、現存の様々なソリッド・モデリング手法の特徴、利点、欠点と応用を検討し、ソリッド・モデリングの代表的な二つのシステム CSG と B-rep を中心に分析している。

第3章では、構造的な離散表面点モデル (CDSPM) の基本的な概念と構築方法について述べている。CDSPM ではソリッドオブジェクトは離散的な表面点で評価された基本的形状体の集合演算で定義する。形状体の表面はポイントペア集合とサンプル境界セグメントで表現され、基本形状も複合形状も一様にポイントペア集合で表す。複雑な形状を複合する場合には、重なるサンプル境界セグメントから共通動作区を抽出し、複合後の幾何形状表面点集合 (GSP) を求める。複合操作は GSP に対するブール集合演算として実現する。

CDSPM モデルは従来と異なり、物体の境界評価と集合演算のモデルを生成とを同時に行うことができるという特長を持っている。また CSG のような抽象的なツリー表現ではなく、具体的な表面形状を粗く表現しているので、ワイヤー・フレーム図形や陰影画像の生成にも適する。さらに、モデルデータの構造は規則正しいサンプル点配列なので、隣接表面点を利用しメッシュを作成することも容易である。このように CDSPM のデータ構造が加工製造 (CAM) と性能分析 (FEM) に要求される基本的仕様を備えていることを明らかにしている。

第4章では、ソリッドモデル中の冗長なデータの削除法を論じている。冗長データの存在はシステム間のデータ交換を困難にする要因であり、レンダリングコスト増加の主な原因でもある。本章では、冗長性をヌルプリミティブ (null primitive) とヌルブロック (null block) に分類し、CDSPM における検出の方法を明らかにしている。ソリッドモデリングの場合では複雑な形状体を抽象的に表現するため、設計者の入力データとプリミティブの相互関係の正確な評価が事前に行われないので、ヌルプリミティブが発生する可能性が高く、通常はプリミティブ群の一部だけが結果に貢献する。また、最終結果の境界の評価がレンダリング前には単独では行われないため、結果に寄与しないヌルブロックもモデル中に存在している。この2種類の冗長データを取り除くため、2つの手法を提案している。

具体的にはサンプルセグメントを利用して、ユーザに明確的にプリミティブの複合位置を決める環境を提供し、ユーザが二つのプリミティブの共通動作区を保証すれば、ヌルプリミティブの発生を防げるようにしている。また、サンプルセグメントの共通の領域に対するポイントペア集合の記述について3章で定義したブール演算を行うことで、物体の境界の評価を行いヌルブロックを削除できるようにしている。このようにして生成されたソリッドモデルは冗長性が無く高速な画像のレンダリングに適している。

第5章では、CDSPM モデルに基づく新しいレンダリングのアルゴリズムについて提案している。この方法は逆投影とピクセル補間の手法によって離散表面点から効率的にイメージを生成するための手法で、逆投影する際、まず可視点の集合を求め出し、スクリーン上に対応する画素を求め、画素の間にある画素に対して補間を行う。この補間はCDSPM に記録されているプリミティブのパラメータによって正確に計算することができ、一つの画素あたり最大でも二つのプリミティブとの交点計算ですむ。この方法によれば任意の視点からの高速な画像のレンダリングが可能であると述べている。

第6章では、本論文を総括し、将来における本論文のCDSPM の応用の可能性などを検討している。

これを要するに、年論文はCAD/CAM およびタンピュータグラフィックスにおける形状モデリングおよびレンダリングについていくつかの手法を提案し、互換性の向上などに関して議論を行ったもので、その結果得られた数々の新知見は情報工学、応用計算機工学に貢献するところ大なるものがある。

よって著者は、博士（工学）の学位を授与される資格あるものと認める。