

氏名（本籍）	大野尚則（岐阜県）
学位の種類	博士（工学）
学位記号番号	甲第 105 号
学位授与年月日	平成 11 年 3 月 25 日
専攻	電子情報システム工学専攻
学位論文題目	バーチャルリアリティ技術を用いた工業設計環境の高度化に関する研究 (Improvement of Design Environments for Industrial Developments by Virtual Reality)
学位論文審査委員	(主査) 教授 小鹿 丈夫 (副査) 教授 山本 和彦 教授 田中 嘉津夫

論文内容の要旨

近年、高速な演算装置とグラフィックスハードウェアが普及し、製品開発においてコンピュータは必要不可欠な存在となった。新製品の企画や意匠設計においては、CG (Computer Graphics) システムを用いてデザイナーのイメージを3次元的に設計し、レンダリングを施すことにより実物さながらに表現することが可能である。また、詳細設計用の CAD/CAM (Computer Aided Design / Computer Aided Manufacturing) システムは、ミクロン単位の精度で設計を行うことができ、加工用や製図用に利用される。さらに詳細設計された形状は、実物の素材で試作されたモデルによって、仕上がり形状の検査や、様々な環境下での耐久性等の試験がなされているが、現在ではその一部が CAE (Computer Aided Engineering) システムによって代替され、コンピュータ内で様々な環境を仮想的に再現し、その環境内での形状の挙動をシミュレートさせることが可能となった。

一方、最近では VR (Virtual Reality) に関する研究が盛んに行われ、空想世界や現実世界を忠実かつリアルにコンピュータ内に再現する技術の進歩や、仮想空間を体感するためのインターフェースの開発などにより、人がコンピュータ内に構築された3次元世界を擬似的に体験することが可能となった。この VR 技術はアミューズメントを中心に、教育用、販売促進用など、様々な用途で利用されるようになり、産業界ではその可能性に大いに期待されている。工業分野においては、設計データの検証や動的シミュレーション等に利用され、その価値が認められてきており、今後、特に VR 技術の開発・設計作業への利用が望まれている。

本研究では、VR 技術による工業設計環境の高度化を目指し、主に工業設計における VR 技術利用による形状操作インターフェースの改善と、VR 技術を含んだ工業設計統合化を実現するためのデータ構造についての2点について検討を行う。

最初に工業設計における VR 技術利用による形状操作インターフェースの改善として、実モデルを計測して得られた距離データから形状を抽出し、CAD データに変換するシステムに VR におけるインターフェース技術を適用する。

距離データに含まれる形状の CAD データへの変換については、現在、リバースエンジニアリングやラピッドプロトタイピングにおいて重要な課題となっている。現在、そのためにコンピュータビジョンの分野では多くの研究がなされているが、コンピュータによる領域分割の限界などにより、高精度に形状を抽出することは難しい。また、オペレータを介して距離データを CAD データに変換するアプリケーションも存在するが、2.5次元の画面で

2次元マウスを使用しているため、雑音や測定誤差の含まれた距離データ中の点の奥行き位置の把握や指示が難しく、精度が要求されるCADデータに変換することは容易ではない。本研究では、3次元インターフェースにより、テンプレートカーソルを用いて形状要素を抽出するための点群を選択し、さらにその点群に画像処理手法を施すことによって形状を抽出する方法を提案する。このテンプレートカーソルの利用により、距離データ中の雑音を吸収し、正確かつ効率的に形点群を選択することができ、かつ選択時に利用したテンプレートカーソルの位置を用いて、画像処理手法や数値計算手法を用いて目的形状を抽出するため、より高速で正確に形状抽出が可能である。

次に、統合設計環境の実現のための基礎となる主な形状定義モデルを統合的に扱うためのデータ構造について検討している。先に述べたように、製品の形状設計においては、主にCG、CAD、CAEシステムが利用され、今後VRシステムの利用も多くなることが予想される。理想的にはこれらのシステムが有する機能が統合化されて、共通のプラットフォームで設計できることが望ましいが、現状ではこれらのシステムで用いられている形状定義モデルに互換性が無いために、それらのアプリケーションが独立して用いられ、アプリケーション間のデータ交換は、トランスレータにより半手動で行われている。したがって、統合設計環境の実現のためには、製品設計に必要なすべての形状定義モデルを統合でき、かつデータの互換性が保証されるデータ構造が必要である。本研究では、仮想空間を定義するためのScene Graph技術とトポロジーデザイン技術、さらにオブジェクト指向型データベース技術を利用して、仮想空間の記述から複数の形状定義モデルまでのデータを有機的に統合化するデータ構造を提案する。このデータ構造は、頂点情報と稜線情報をすべての形状定義モデルから共有化されているため、ある一つの形状定義モデルのデータを変更することにより、すべての形状定義モデルのデータにその変更がダイナミックに波及する仕組みを持つ。したがって、このデータ構造はモデリングシステムのカーネルとして有効であり、それぞれの形状定義モデルの特長を生かしたモデリングシステムが実現できる。本研究では、この構造をCSG (Constructive Solid Geometry) モデリングシステムのカーネルとして利用し、その形状データ統合化に利用するための有効性を示している。

これら一連の研究により、VR技術を用いて仮想空間内で、製品設計・開発を短期間、低コストで行うための基礎的な問題が解決されたので、より優れたコンカレントエンジニアリングシステムの実現にむけて、さらなる設計環境の高度化が期待できる。

学位論文等審査結果の要旨

本論文では、現在の工業設計において課題となっている“試作モデルからCADデータへの変換”について、VR技術を3次元空間インターフェース技術として利用することで正確で効率的に距離画像からCADデータを構築するシステムの開発を行っている。また、現在、乱立するCADシステム間の“CADデータの交換”の課題に対して、VR（動的シミュレーション用）、CG（意匠デザイン用）、CAE（形状解析用）、CAD/CAM（形状設計用）を含んだ設計工程全般に利用される形状データの統合化が可能な形状統合化データベースを開発している。実際に開発を行ったシステムは以下の特徴を有する。

- 1) 距離画像からCADデータを構築するシステムについては、距離画像を配置した仮想3次元空間とオペレータのインタラクションにより基本形状（直線、平面、円筒面）を抽出するシステムであり、距離画像を立体視するため距離画像の位置関係の理解が容易で、また3次元指示デバイスを用い抽出目的の形状をした特殊なカーソルをテンプレートとして利用するため点群の選択が正確で効率的に行うことができる。また、選

扱された点群に基づいてオペレータが適当な画像処理手法の適用し形状の抽出を行うため、距離画像の程度に関わらず安定した形状抽出ができる。更に拘束条件による形状抽出により、抽出目的形状の自由度を減らし、正確な形状抽出も可能である。実験の結果、効率よく正確に基本形状を抽出することができ、本システムは実用に耐えうるレベルにある。

- 2) 形状統合化データベースシステムは、工業分野での設計工程に必要な形状データ (CSGソリッドモデル：VR，パッチモデル：CG，サーフェスモデル：CAD/CAM，B-repsソリッドモデル：CAE) を統合的に処理できるデータベースシステムである。形状データを最小単位に分割したものをクラスオブジェクトとした上で、これらのオブジェクトを従属関係を持たせることにより階層的に表現するデータ構造を持っている。したがって、すべての形状データからデータベース末端の頂点データと稜線データを共有しているために、一部の形状の変更がデータベース全体に波及する仕組みを有している。また、様々な設計場面で利用される形状データはそれぞれ情報量が異なるため、本システムは、ある一つの形状データからデータベース全体を構築するために必要なデータを付加する機能を有する。したがって、本システムは工業設計全体を通して利用することができる。
- 3) 形状統合化データベースを拡張し、CSGのモデリングインタフェースを追加することによって、形状統合化CSGモデリングシステムを試作している。基本的なモデリング機能を有しており、このシステムで設計した形状により、インタラクティブにデータベースが構築できるため、今後、本システムが本格的なモデリングカーネルとして利用されることが望まれる。

これらをまとめると、本論文では工業分野でのVR技術の有効性を示すと共に、距離画像からCADデータへの変換といった実際的な課題に対して、オペレータと仮想3次元空間とのインタラクションによって実現可能であることを示した。同時に、現状では困難な形状データの統合化という課題に対しても、データベースシステムを開発するだけでなく、新しいデータ構造の提案もしており、学術上有意義である。