

(研究題目) 3次元形状デザインのための直観的操作インタフェースに関する研究  
Research on Intuitive Interface System for 3-D Shape Design

(研究者)

村上 存 東京大学工学部産業機械工学科 助教授

Tamotsu MURAKAMI, Associate Professor, Department of Engineering Synthesis, The University of Tokyo

### 3. 英文サマリー

This research proposes a direct and intuitive interface system for 3-D shape deformation. By deforming an input device made of electrically conductive polyurethane foam with bare hands with a tactile feedback, users can manipulate a 3-D shape modeled and displayed on a computer screen quite directly and intuitively. Free-form deformation is effectively introduced for deformation mapping between the input device and the 3-D shape modeled in a computer.

### 4. 邦文本文

#### 4-1. 研究目的

現在、CAD（コンピュータ援用設計）システムなどにおいて、使用者がコンピュータ内にモデル化された3次元形状を操作するための入力インタフェースとしては、依然としてマウス、タブレット、ダイヤル、キーボードなどが用いられている。これらの入力装置は、数値的に正確な形状の操作や、形状の詳細に関する部分的な操作には適している反面、高度に3次元的な変形操作（全体を曲げながら少しねじる、など）については、複数手順の組合せが必要となり、直観的な形状操作が可能であるとはいえない。

以上のような問題を解決するために、本研究では、主に機械系3次元CADシステムにおける使用を想定し、直観的な3次元形状操作が可能なマン・マシン・インタフェースの実現を研究の目的とする。具体的な研究内容として、コンピュータ内で対象とする3次元形状に変形を加えるための仮想的な制御立方体を設定し、それと

同じ形状を有する入力装置を導電性・弾性材料を用いて製作する。入力装置を手にとって素手でクレイ（造形用粘土）モデルを扱うような感覚で、曲げる、押す、ねじるなどの直観的な変形操作を加えることにより、その変形が電氣的に計測され、コンピュータ内の3次元形状モデルが連動して変形するインタフェースを提案する。

#### 4-2. 研究経過および成果

本研究では、昨年度までの成果として、「対象とする3次元形状を模した入力装置に、素手で曲げる、押す、ねじるなどの直観的な変形操作を加えるインタフェース」という研究の基本コンセプトを固め、関連する研究のサーベイにより本研究の独創性を確認した。また、導電性ウレタンフォームで簡単な入力装置を製作し、パーソナル・コンピュータに接続して基本動作実験を行い、本研究のアプローチが有効であることの見通しを得た。

以上の成果に基づき、本年度は以下に述べる研究計画を設定し、それぞれについて具体的な成果を得た。

##### (1) 自由形状変形概念の導入

昨年度は、操作対象となる3次元形状を、制御立方体上に設定された26点を制御点として定義される閉Bスプライン曲面で代用したため、対象形状と制御立方体が独立ではなかった。このため、形状を編集する3-Dカーソルとして、制御立方体が対象形状に対してサイズ、位置、姿勢を変えることができず、変形操作の自由度が低かった。そこで本年度は、自由形状変形(free-form deformation)の概念を導入した。これは、ベジエ基底関数に基づき制御立方体内部の空間を変形することによって、その空間に含まれる幾何図形を間接的に変形する考え方である。これによって、制御立方体と対象形状の表現を切り離すことが可能となり、任意の対象形状に変形を加えることが可能となった。

##### (2) グラフィックス・ワークステーションおよび高速A/Dコンバータの導入

昨年度の基本実験では、予算の関係でパーソナル・コンピュータを用いていたため、変形が画面上でリアルタイムに動的表示されるのは制御立方体のワイヤフレームのみであり、対象3次元形状の自由曲面は変形確定後に静的表示されるのみであった。

そこで本年度は、前述の自由形状変形の導入による計算量増加に対応し、さらに

隠線処理された自由曲面の変形を実用的な応答性でリアルタイム表示可能な、高性能グラフィックス・ワークステーションおよび高速A/Dコンバータを導入した。入力装置における変形の計測点は72箇所となるため、16チャンネル高速A/Dコンバータに、多チャンネル化のためのマルチプレクサ回路を製作して組み合わせた。これによって、本研究で提案するコンセプトの有効性を、ハードウェア性能上の問題と明確に区別して正しく評価することが可能となった。

### (3) 液状ウレタンの発泡成形による3次元形状入力装置の製作

非導電性ウレタンフォーム製の立方体表面および内部に、導電性ウレタンフォームをセンサとしてトラス状に配置し、各部に加えられた変形を抵抗値の変化として計測できる入力装置を製作した。昨年度は、多数の（非）導電性ウレタンフォームの小片を組み立てることにより入力装置を製作したが、これは装置の耐久性や小型化の際の組立作業性に大きな問題があった。そこで本年度は、まず成型型の中に導電性ウレタンフォーム片でセンサのトラス構造を組み上げ、そこに液状ウレタンを流し込み発泡成形する方法を実現した。これにより、装置耐久性および組立作業性が向上された。

### 4-3. 発表論文リスト

Tamotsu Murakami and Naomasa Nakajima, Direct and Intuitive Input Device for 3-D Shape Deformation, Proceedings of ACM CHI'94, Boston, USA, April 24-28, 1994, pp.465-470.