

# 接触感覚を用いた形状入力手法

6K-6

福井 幸男

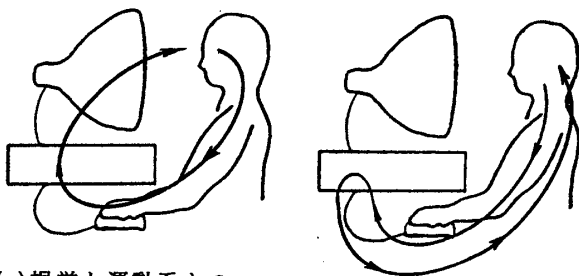
下条 誠

岸 義樹

工業技術院・製品科学研究所

## 1. はじめに

曲線を含む2次元形状を直接計算機に入力する方法は、描かれたものを光学的に読みとるかマウスやデジタイザで座標点列として入力するのが一般的である。ところが、一旦入力した曲線を修正する場合を考えると、マウスやデジタイザでは思うような修正が難しい。その原因の一つは、相対位置入力が困難なことである。すなわち、与えられた形状に対して、相対的な位置入力が求められている場合には、ディスプレイの像を目で追いながら手でそれに沿って動かすという、視覚と運動感覚の双方を併用しなければならないため困難さをともなうのである(図1(a))。一方たとえばくろで回転体の断面を生成する場合のように、対象物体の弾塑性を利用して力を与えて微小変形させる場合は視覚は補助的な確認のためで、変形に直接関与していないので容易である。計算機に入力された形状を修正するときにはこの力のフィードバックが無いため、わずかな変位を入力するのが難しくなっている。本報告では、形状の入力はマウスと同じ様な感覚で行い、修正時にはあたかも弾塑性物体に触れて変形させるような力のフィードバックがある接触感覚を伴う入力方法について述べる(図1(b)参照)。



(a) 視覚と運動系との連携が必要なループ (b) 本提案の運動系だけのループ

図1 形状入力にともなう人間機械系の情報閉ループ

## 2. 基本原理

2次元の力センサーを同次元の位置決め機構のヘッド部に取り付け、力センサーの出力の方向にマイクロコンピュータで位置決め機構のヘッド部を動かすような構成をとっている。ここで、もし動かそうとする方向が既に定義済みの形状を横切る方向であれば、その方向への位置の変化を許さないように制御することにより、操作者に力のフィードバックを与えることができる。いまロードセルに加わる手の力をベクトル  $f$  で表わし、定義する形状を弾性体とみなしその剛性マトリックスを  $K_m$  とし、位置決め機構のサーボ系の剛性マトリックスを  $K_s$  とする。さて、位置決め機構のヘッド部のロードセルに力  $f$  が加わった場合を考える。このとき、ヘッド部が既に定義済みの形状の面に接しているかどうかによって次の2つの場合に分かれる。

### (1) ヘッド部が形状面に接していない場合

ロードセルに加わる負荷がなくなるまでヘッド部を  $f$  の方向に動かす。

### (2) ヘッド部が形状面に接している場合

一般に次の式が成り立つ。

$$\delta x = K_m^{-1} \cdot f \quad \dots \dots \dots ①$$

また、サーボ系は固有の剛性をもつから反力  $-f$  を出しながらか  $\delta x$  の変位をさせるために、実際にサーボ系に指示する変位を  $\delta x'$  とすると、

$$(\delta x - \delta x') = K_s^{-1} \cdot f \quad \dots \dots \dots ②$$

が成り立つ。①と②から  $\delta x'$  は次式となる。

$$\delta x' = (K_m^{-1} - K_s^{-1}) f \quad \dots \dots \dots ③$$

サーボ系の剛性が形状の材質のそれに比べて非常におおきいときは③式より  $x' \approx x$  となる。

$K_s$  は実験的に求めることができ、 $K_m$  を決めれば③式で求められる制御を行うことができるので、操作者はあたかも物にぶつかってそれが堅ければ、それ以上力を入れても動かないような日常経験する感覚で形状を定義することができる。また、定義される

Shape input method with tactile sensation

Yukio FUKUI, Makoto SHIMOJO, Yoshiki KISHI

Industrial Products Research Institute, MITI

形状の剛性 $K_m$ をソフトウェア的に変更することにより、形状の表面上で与えた力に対応して変形させることが容易となり、さらに形状の塑性も加えれば、力を加えたところがくぼみ、粘土細工と同様な自然な感覚で変形させることができる。

### 3. 実験

#### 3.1 ハードウェア構成

図2に実験に用いたシステムのブロック図を示す。操作者の手の力を、XYレコーダーのヘッド部に取り付けられた2次元方向ロードセルでX方向、Y方向成分に分解し検出し、歪アンプを経由してA/D変換後マイクロコンピュータに取り込む。マイクロコンピュータで計算された現在位置はD/A変換して再びXYレコーダーに入力され、ヘッド部を動かして閉ループを構成する。2次元ロードセルは、歪ゲージをもちいた1次元ロードセルを2個組み合わせで製作した。力の感度曲線は、不感帯と飽和域を設けた折れ線とした。

#### 3.2 衝突検出ソフトウェア

現在あつかっている2次元形状は折れ線で構成されているため、既に定義済みの形状表面を現在のカーソルが横切ろうとしているかどうかの検出は、各折れ線分とカーソル位置からの力の大きさに応じた変位ベクトルとの交差計算を整数演算で行っている。変位ベクトルの絶対値の最大値を設定しており、折れ線分と変位ベクトルとの距離がこの最大値の2倍よりも大きい場合は、交差計算を省略して、全体の処理速度を上げている。

#### 3.3 変形アルゴリズム

既に定義された形状の表面にカーソルをあてて力を加えた場合、力の大きさと加えた時間に比例して、カーソルを当てた位置の近傍が距離に応じて変形するようにプログラム化した。この方式により少しずつ変形させて意図した形状へ近づけることが楽にできるようになった。

### 4. 結果と考察

図3に実験結果の一例を示す。一部分が二重になっているが、外側が最初に入力した図で内側の線は

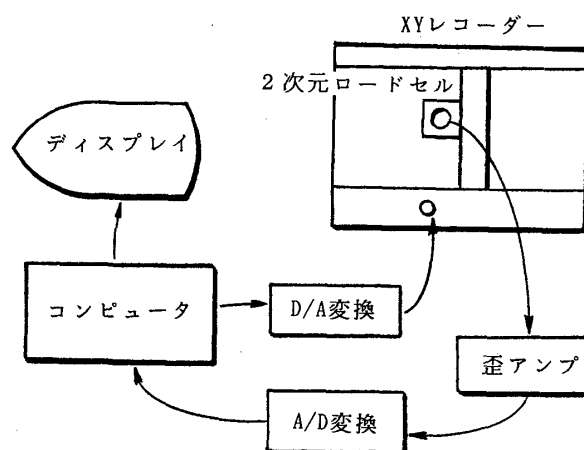


図2 システムブロック図

外側から力を加えて変形させた結果の形状である。ここでは図の表示だけだが、実際は操作者に力のフィードバックがあり、より現実感をともなって形状変更ができた。実験の結果明らかになった問題点は、接触する場所では演算時間がかかるため、スムーズに接線上を撫でる操作が、マイクロコンピュータではまだ実現できない状態であることである。

### 5. おわりに

本方法では形状を計算機上に定義するために力のフィードバックをとまなう入力方法を提案した。操作感の良しあしを定量的に表現していないため他の方法との比較評価が難しい面があるが、操作した感触は非常に良かった。今後は演算処理をワークステーションに移し、よりスムーズな動きを実現し、3次元形状の入力に応用していく予定である。

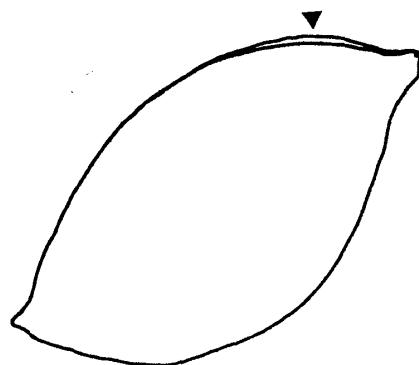


図3 2次元形状入力・変形例

▼印に力を加えて変形させた例