

## 生成方法に依存しない3次元ソリッドの形状変更システム

7D-2

清水 周一 井上 恵介 田島 玲

日本アイ・ビー・エム株式会社 東京基礎研究所

## 1 はじめに

一般に、3次元形状モデルを定義するには数多くの方法があり、したがって、3次元ソリッドを生成する方法も様々である。例えば、集合演算を基本とするCADシステムによって作られたソリッド [Okino73] や、三面図から自動的に生成されたソリッド [Masuda94] などがあげられる。このような3次元ソリッドの形状を修正する場合には、それを生成したシステムに応じて、前段階すなわち集合演算や2次元図面のレベルまで戻る必要があった。しかし、このような生成の繰り返しはシステムにとって大きな負担となるし、特に、三面図からの立体化の場合では、図面自身が持つ曖昧性により生じた複数の解候補から人間が一つを選択する必要があるため、図面の変更はすなわち選択操作の繰り返しにつながる。

また一方で、CADシステムはそれ自体で閉じたものでなく、他のシステムとの間でソリッド・データの受け渡しをすることも多いので、汎用的な3次元ソリッドの形状修正手法が強く求められている。

そこで、幾何制約を用いずに定義/生成された3次元ソリッドに対して、必要なだけの幾何制約を付加することにより、パラメトリックに形状の変更を行なうような手法を開発した。

本手法では、[Shimizu94] の場合と異なり、3次元形状を完全に決定するのに十分な制約を必要とはしない。代わりに、初期形状としての3次元ソリッドを前提とする。制約（寸法）を補うものとして、初期ソリッドの幾何要素が持つジオメトリを利用する。これは制約ほど明示的ではないが、設計意図を反映するものとみなす。ただし、寸法よりも低い優先度を設定して、寸法と矛盾する場合には、自動的に破棄する。

## 2 初期ジオメトリの導入

パラメトリック設計を実現するには、制約を用いた手法が有効である。しかしながら、他の様々な方法で生成されたソリッドに適用する場合、形状を一意に定義するための十分な制約が与えられることは期待できない。そこで、本手法では不足する寸法情報を補うために、初

期形状のジオメトリを利用する。したがって、本手法が必要とする入力データは以下の2種類である。これらはいずれも与えられたソリッドから得ることができる。

初期形状のジオメトリ：平面、直線、点など幾何要素の法線や座標値

位相制約：隣接する幾何要素の相対関係

次の幾何制約は、入力としては必ずしも必要ではない。なお、この制約は形状修正作業の任意の時点で追加および削除できる。

寸法制約：図面上に表されるような寸法や角度

## 3 幾何制約の伝播

ソリッドの位相制約を定義した後、初期ジオメトリを利用した制約の伝播は以下のようにして行なう。

〔準備〕ソリッドを構成する各面のジオメトリに仮説を与え、[Shimizu94] の幾何制約と同様に伝播の発端となるようにする。各面のジオメトリに仮説が与えられると、システムは位相制約を使って仮説を伝播し、それに合わせて稜線や頂点のジオメトリを順次計算していく。伝播が終了したとき、ジオメトリは与えられたソリッドのものと同じになっている。

〔寸法の追加〕上記準備の終わった状態に対して寸法制約を加えると、仮説は過剰の状態、すなわち、あるジオメトリを計算する手段が2つ以上存在する状態となる。ここで、与えた寸法がそのときの形状に矛盾しない場合には、それぞれの手段により計算されるジオメトリは同一であり、制約（仮説）は冗長であるにすぎない。仮説は冗長であっても、形状を決定する用途においては問題とならない。

〔寸法の競合〕操作対象の形状を変更するために寸法を与える場合には、当然、寸法値と形状のジオメトリとが矛盾する。このように、仮説が過剰でしかも競合する場合には、いくつかの幾何要素は2つ以上のジオメトリを持つため、形状は一意には決定せず、2つ以上の形状候補を含むことになる。

例えば図1の寸法を大きくした場合には、図2で示すように、2通りの形状が計算される。このとき、図に斜線で示した面のジオメトリは2つずつ計算されている。寸法に与えた仮説を“A”、面の初期ジオメトリに割り

当てた仮説をそれぞれ“B”、“C”とすると、左右の面に与えられたジオメトリのラベル(仮説の集合)は

左面:  $\{\{B\}\}, \{\{A,C\}\}$   
 右面:  $\{\{C\}\}, \{\{A,B\}\}$

となる。ここで、各面の1番目のラベルは初期ジオメトリ、2番目のラベルは寸法をもとに計算されたジオメトリのものである。

〔競合の解消〕形状を一意に決定するためには、各幾何要素のジオメトリは、それぞれただ一つでなければならない。そのためには、競合する仮説のいずれかを取り消す必要がある。先のラベルをみると、2つのジオメトリは共存できないので、“A”と“B”と“C”とは同時には成立できないことがわかる。したがって、この例では、3つの仮説のうちただ一つを取り消せば良い。ここで、2つあるいはすべてを取り消すと、競合は解消されるが、ジオメトリもすべて破棄されるので、形状が不定となり期待する結果ではない。

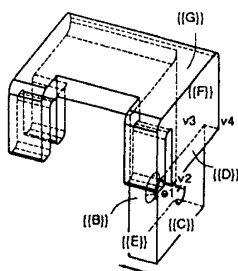


図 1: 修正前の形状

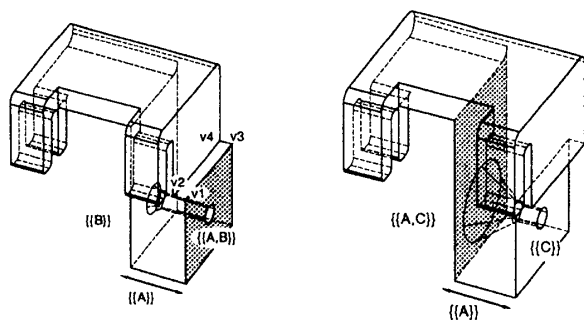


図 2: 修正後の形状候補

#### 4 幾何制約の優先度

本手法では、位相制約、寸法制約、および初期ジオメトリの順に段階的な優先順位を設けて、取消候補をできるだけ絞り込むようにしている。ここで、位相制約には「恒真」を表す特別な仮説を割り当てることで、その優先度をもっとも高くしている。恒真を割り当てた位相制約は、形状の局所的な凹凸を不変に保つ役割をも持つ。以下では、まず、この凹凸を不変に保つ仕組みにつ

いて述べ、次に優先順位を使った取消候補の絞り込みについて述べる。

図 2 の例では、まず斜線部の面のジオメトリが更新され、次に“ $e_1 \leftarrow v_1, v_2$ ”などの位相制約を用いて頂点“ $v_1$ ”や稜線“ $e_1$ ”などが順次更新されていく。その結果、頂点  $v_1, v_3$  および稜線  $e_1, e_2$  のジオメトリのラベルは以下のように更新される。

$v_1: \{\{C,D,E\}\}, \{\{A,B,D,E\}\}$   
 $v_3: \{\{C,D,G\}\}, \{\{A,B,D,G\}\}$   
 $e_1: \{\{D,E\}\}, \{\{A,B,D,E,F\}\}$   
 $e_2: \{\{D,G\}\}, \{\{A,B,D,F,G\}\}$

これらの幾何要素も2つずつジオメトリを持つことになるので、仮説が競合していることがわかる。この競合を全体的に解消するための条件は、以下の式で表される。

$$ABC + ABDEF + ABDFG = 0$$

変形すると、以下の式が得られる。

$$A \cdot B \cdot (C+D) \cdot (C+F) \cdot (C+E+G) = 0$$

この式は、“A”、“B”、“C”と“D”、“C”と“F”、あるいは“C”と“E”と“G”の5つの候補のうちいずれかを取り消せば、競合が解消されることを表している。しかし、後者3つはジオメトリをすべて破棄してしまうので、取消候補とはしない。したがって、残るのは、寸法(A)および左面の初期ジオメトリ(B)のみである。しかし、本手法ではさらに、寸法制約は初期ジオメトリより優先度を高く設定しているため、最終的に残される取消候補は“B”のみである。この候補は制約の代替として利用している初期ジオメトリなので、システムは暗黙のうちに“B”を取り消して、修正結果として凹凸の変化のない図 2 の右側の形状を提示する。

#### 5 おわりに

幾何制約は平面、直線、点に対して与えることができる。したがって、システムは、多面体のソリッドだけではなく、軸と半径などで表現された円筒面や円錐面、トーラス面などを含むソリッドも受け入れることができる。

#### 参考文献

[Okino73] N.Okino et al: TIPS-1: technical information processing system for computer-aided design, drawing and manufacturing, Computer Languages for Numerical Control. pp.141-150 (1973)  
 [Masuda94] 増田他: 非多様体形状モデラと ATMS を用いた三面図からのソリッド合成法, 情報処理学会論文誌, Vol.35, No.3, pp.453-460 (1994)  
 [Shimizu94] 清水他: 幾何制約に基づく3次元形状の設計, 人工知能学会誌, Vol.9, No.1, pp.129-138 (1994)